DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Vierzehnter Jahrgang | 1. Oktober 1926 | Heft 40

Das Problem der δ-Cephei-Sterne.

Von P. TEN BRUGGENCATE, Göttingen.

Die folgenden Ausführungen schließen sich an einen Aufsatz über die Entwicklung stellarer Materie an, der in dieser Zeitschrift im Jahre 1925 (Jahrg. 13, S. 261) veröffentlicht wurde. Sie sind insofern eine Weiterführung der dortigen Betrachtungen, als hier versucht wird, auch kritische Zustände der Sternentwicklung, wie sie bei den δ-Cephei-Sternen, den O-Sternen und den planetarischen Nebeln vorliegen, in ein allgemeines Entwicklungsschema einzuordnen. Des Zusammenhangs wegen habe ich die wichtigsten Ergebnisse der zitierten Arbeit nochmals in § 1 kurz zusammengefaßt. Wegen der eingehenden Begründung der für das Weitere grundlegenden Auffassung, daß das Russell-Diagramm Entwicklungsdiagramm im Sinne der Riesen-Zwergtheorie sei, möchte ich auf den ersten Aufsatz verweisen.

1. *Das Russell-Diagramm.* Die Grundlage einer jeden Untersuchung über die Entwicklung der Sterne bildet das sog. *Russell-Diagramm.* Es stellt die statistische *Verteilung der Sterne* nach ihrer *Leuchtkraft* (absolute Helligkeit) und ihrem *Spektraltypus* (Temperatur) dar. Abszisse des Diagramms ist gewöhnlich der Spektraltypus, Ordinate die absolute Helligkeit. Jeder Punkt des Diagramms repräsentiert somit einen Stern von bestimmter Leuchtkraft und bestimmter Temperatur. Man könnte erwarten, daß für einen Stern *jede Kombination von absoluter Helligkeit und Spektraltypus gleich wahrscheinlich* sei; dann wären

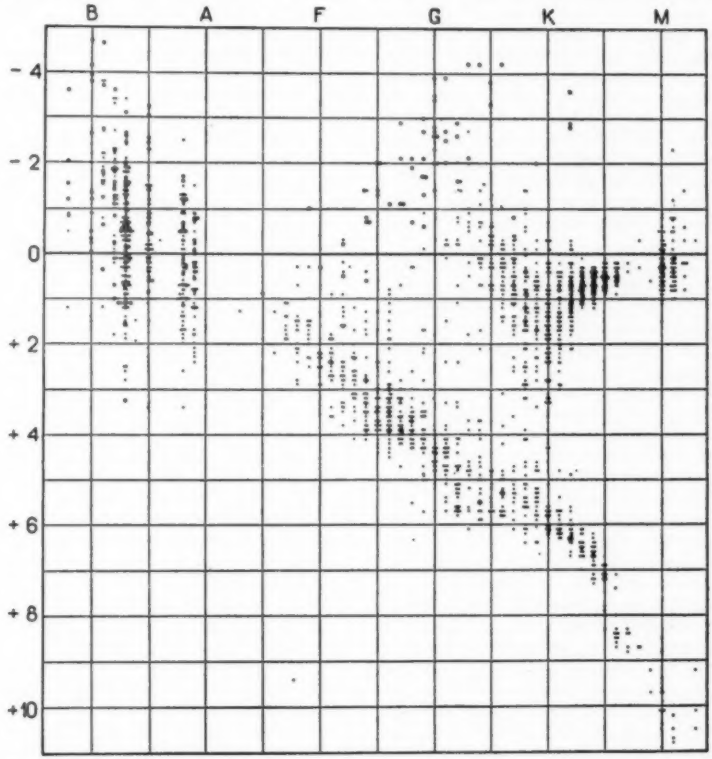

Fig. 1. Das RUSSELL-Diagramm für etwa 2000 Sterne mit bekannten spektroskopischen Parallaxen. Abszissen: Spektraltypus. Ordinaten: Absolute Helligkeit.

die einzelnen Punkte im Russell-Diagramm, die die einzelnen Sterne darstellen, *gleichmäßig* in der Ebene des Diagramms verteilt. Dies trifft nun aber keineswegs zu, sondern die Punkte ordnen sich in der Diagrammebene im allgemeinen mit erstaunlicher Regelmäßigkeit in zwei gesonderten Reihen an, der Reihe der Riesensterne und der Reihe der Zwergsterne. In der Fig. 1 ist das Russell-Diagramm für etwa 2000 Sterne mit bekannten spektroskopischen Parallaxen wiedergegeben. Die Frage, ob dieser Anordnung nur eine *statistische* Bedeutung zukommt (in welchem Falle die Riesen mit den Zwergen in keinem *kosmogonischen* Zusammenhang stehen würden), oder ob ein Entwicklungszusammenhang zwischen beiden Reihen von Sternen existiert, bildet ein Zentralproblem der modernen Kosmogenie. In der oben zitierten Arbeit fiel die Entscheidung zwischen beiden Möglichkeiten (auf Grund von Untersuchungen über Sternhaufen) zugunsten der zweiten aus: *Das Russell-Diagramm ist ein Entwicklungsdiagramm* in dem Sinne, daß ein normaler Stern sein Leben als roter Riese beginnt und als Zwerg endigt.

EDDINGTON hat auf Grund wesentlich theoretischer Überlegungen gefunden[1]), daß sowohl für Riesen- wie für Zwergsterne die absolute Helligkeit bestimmt wird durch die Masse und Temperatur des Sternes, und zwar für *beide Sternarten auf die gleiche Weise*. Für lauter Sterne gleicher Temperatur ist die Leuchtkraft also nur noch eine Funktion der Masse. Das heißt aber, ein Riesenstern (an Leuchtkraft) kann, wenn seine Masse während der Entwicklung konstant bleibt, niemals zu einem Zwergstern (an Leuchtkraft) mit der gleichen Temperatur werden, wie es die Deutung des Russell-Diagramms als Entwicklungsdiagramm verlangen würde. Die einzige mit den Beobachtungen verträgliche Konsequenz ist die, daß die Konstanz der Masse während der Entwicklung aufgegeben wird, daß vielmehr die Masse sich umsetzt in Strahlungsenergie.

2. *Der Lebensweg eines „normalen" Sterns*[2]). Der Zusammenhang zwischen Leuchtkraft, Masse und Temperatur, wie er für Riesen- und Zwergsterne gilt, ist in der Fig. 2 graphisch dargestellt. Sie ist einer Arbeit von JEANS[3]) entnommen, der diese Darstellung zuerst angewandt hat. Abszisse ist die Masse (M), Ordinate die Leuchtkraft (L). Zu jeder Kurve in der Ebene (M, L) gehört eine bestimmte Temperatur oder ein bestimmter Spektraltypus.

Der Lebensweg eines Sternes, der seine Strahlung durch Massenverlust in der Weise deckt, daß seine Leuchtkraft dauernd in einem konstanten Verhältnis zu seiner Masse steht — offenbar der einfachste Fall —, geht durch den Ursprung des Diagramms. Er kann etwa durch die Gerade AO dargestellt werden. Seine Temperatur würde dauernd wachsen; er könnte also auch nicht die Reihe der Riesensterne im Sinne wachsender Temperatur, die der Zwergsterne im Sinne abnehmender Temperatur durchlaufen. Das *einfachste* Modell, das diese Bedingung erfüllen würde, wäre offenbar ein Stern, der sich aus zwei Arten von Materie zusammensetzt; die eine Art möge sich in konstantem Verhältnis in Strahlung umsetzen, die andere bleibe erhalten. (Es lassen sich daneben natürlich noch beliebig viel andere gleichberechtigte Modelle konstruieren. Für das folgende ist es völlig ausreichend, dies denkbar einfachste Modell zu betrachten. Ich bin mir dabei bewußt, daß es sicher nur eine ganz rohe Annäherung an die Wirklichkeit darstellen kann.) Dann schneidet der Entwicklungsweg des Sternes (AB) die M-Achse und berührt (wie man aus der Form der Kurven konstanter Temperatur in der ML-Ebene sieht) in einem bestimmten Punkte C eine der Kurven $T = \text{const}$. Von A bis C nimmt der Stern an Temperatur zu, d. h. er bewegt sich in der Richtung der Spektraltypen $M, K, G \ldots$ Im Punkte C erreicht er die höchste Temperatur, den „frühesten Spektraltypus". Von C bis B endlich nimmt die Temperatur wieder ab, er bewegt sich in der Richtung $\ldots G, K, M$. Die Vorstellung, daß sich die Strahlung eines Sternes aus seiner Masse decken soll, zieht also die Annahme nach sich, daß der Stern aus mehreren Arten von Materie bestehen muß, die an der Deckung der Strahlung verschieden stark beteiligt sind. Das einfachste Modell dieser Art haben wir eben skizziert.

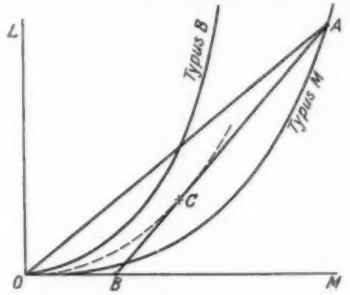

Fig. 2. Zusammenhang zwischen Leuchtkraft, Masse und Temperatur bei „normalen" Riesen- und Zwergsternen.

3. *„Kritische Zustände."* Von den bisherigen Ausführungen glauben wir, daß sie eine stilisierte Beschreibung von der Entwicklung eines normalen Sternes geben. Daß die Entwicklung der Sterne in vielen Fällen keine so einfache — vom roten Riesen bis zum roten Zwerg — ist, zeigt abermals das Russell-Diagramm. Im Russell-Diagramm kommen einige Stellen vor, die man mit Recht

[1]) EDDINGTON, Monthly Notices **84**, 308.

[2]) Im folgenden wird unterschieden zwischen „normalen" und „kritischen" Zuständen der Sternentwicklung. Es wird zunächst nicht angenommen, daß diese identisch sind mit „stabilen" und „instabilen" Zuständen.

[3]) JEANS, Monthly Notices **85**, 798.

„kritische Stellen in der Sternentwicklung" nennen kann[1]). Eine solche Stelle — die uns hier besonders interessiert — liegt auf dem Ast der Riesensterne beim Spektraltypus *G*, eine andere an der Spitze des Diagramms bei den *B*- und *O*-Sternen und den planetarischen Nebeln. Bei der ersten Stelle zeigen die Beobachtungen deutlich, daß in diesem Entwicklungsstadium eines Sternes die Möglichkeit besonders groß ist, aus einem „normalen" in einen „kritischen" Zustand überzugehen. Es existieren nämlich fast gar keine *normalen F*-Riesen, während die normalen *G*-Riesen und die normalen *A*-Riesen nicht selten sind. Dagegen gibt es sehr viele *veränderliche Sterne* mit periodischem Lichtwechsel, die nach ihrer Leuchtkraft und ihrem Spektraltypus zu den *F*-Riesen gezählt werden müssen. Diese veränderlichen Sterne gehören zur Klasse der δ-Cephei-Sterne, so genannt, weil der Stern δ-Cephei charakteristisch für die Art ihres Lichtwechsels ist. Auf rein empirischem Wege läßt sich zur Zeit beim Studium von kritischen Zuständen in der Sternentwicklung kaum weiterkommen als bis zum Aufzeigen der „kritischen Stellen" im Russell-Diagramm. Wir wissen, rein empirisch, gar nichts darüber, wo die Bildpunkte der Sterne nach diesem Zwischenstadium im Russell-Diagramm zu suchen sind, welcher neue „normale" Zustand also aus dem „kritischen" hervorgeht. Wir sind hier auf rein theoretische Betrachtungen angewiesen.

4. *Theoretische Untersuchung von „normalen" und „kritischen" Zuständen.* Die Untersuchung der „normalen" Zustände ist theoretisch relativ einfach. Sie ist im wesentlichen abgeschlossen, wenn es gelungen ist, eine den Beobachtungen entsprechende Beziehung zwischen Leuchtkraft, Temperatur, Masse und Dichte der Sterne zu finden. Dies hat z. B. die Eddingtonsche Theorie in ihrer alten Fassung geleistet und leistet heute das einfachste Jeanssche Modell mit seinen zweierlei Arten von Materie. Im einzelnen bieten sich selbstredend wesentliche Schwierigkeiten; man denke nur etwa an die schwierige Frage nach dem Absorptionskoeffizienten. Das Wesentliche der theoretischen Untersuchungen über „normale" Zustände ist, daß sie die im Russell-Diagramm enthaltenen Beobachtungen gut darzustellen vermögen, wenn man einen Stern behandelt als *nicht rotierende, strahlende Gaskugel.* Die Berücksichtigung einer Rotation des Modells erscheint für diese Fragen völlig unnötig. Verbesserungsbedürftig ist die „Theorie der normalen Zustände" an einer ganz anderen Stelle, nämlich in der Theorie des Absorptionskoeffizienten, in der man bisher keineswegs zu befriedigenden Resultaten gekommen ist.

Die theoretische Untersuchung „kritischer" Zustände, also z. B. des Problems der δ-Cephei-Sterne, auf das wir nun näher eingehen wollen, stößt auf weit größere Schwierigkeiten. Die Behandlung dieses Zustandes durch ein nicht rotierendes, kugelförmiges Modell, wie es etwa EDDINGTON in seiner bekannten Pulsationstheorie versucht hat, stößt auf ganz erhebliche Schwierigkeiten, auf die HELLERICH kürzlich in dieser Zeitschrift hingewiesen hat[1]). In dieser Theorie wird der „kritische Zustand" der δ-Cephei-Sterne aufgefaßt als eine adiabatische Schwingung einer strahlenden Gaskugel um einen stabilen Zustand. Wenn man sich auf kugelförmige Modelle beschränkt, kann in der Entwicklungsgeschichte des Modells kein „Verzweigungspunkt" im Poincaréschen Sinne auftreten, d. h. kein Wechsel der Stabilität stattfinden. War das Modell anfangs stabil, so bleibt es, wenn wir nur kugelsymmetrische Deformationen zulassen, dauernd stabil. Der „kritische Zustand" ist also hiernach ebenfalls ein stabiler Zustand, aus dem der Stern notwendigerweise *kontinuierlich* in andere stabile Nachbarzustände übergeht. Identifiziert man aber — und nichts scheint mir gegen einen solchen Versuch zu sprechen — die „normalen Zustände" mit „stabilen", die „kritischen" mit „instabilen", so bedeutet dies, daß die „kritische" Stelle im Russell-Diagramm einen „Verzweigungspunkt" darstellt, in dem ein Wechsel der Stabilität auftritt. Wir können nun nicht mehr sagen, daß der Stern aus dem kritischen Zustand kontinuierlich in stabile Nachbarzustände übergeht. Vielmehr vollzieht sich nun im Verzweigungspunkt eine *dynamische Katastrophe*, deren Endprodukt wieder ein stabiler Zustand sein wird, der aber im allgemeinen *keinerlei Ähnlichkeit mit dem Ausgangszustand* haben wird. Dies ist der fundamentale Unterschied beider Auffassungen und ich glaube, daß das im Russell-Diagramm enthaltene empirische Material ausreicht, worauf wir in § 7 zurückkommen wollen, um die zweite Auffassung des kritischen Zustandes als die wahrscheinlichere erscheinen zu lassen. Wenn also überhaupt die Auffassung der „kritischen Stelle" als eines Verzweigungspunktes näher diskutiert werden soll, hat man die kugelförmigen, d. h. nicht rotierenden Modelle zu verlassen und zu der Behandlung von Gleichgewichtsfiguren rotierender Gasmassen überzugehen. Dies bedingt eine ungeheure Erschwerung der theoretischen Untersuchungen.

5. *Gleichgewichtsfiguren rotierender und strahlender Gasmassen.* Was wir aus der Eddingtonschen Theorie der normalen Zustände wissen, ist, daß der Aufbau eines strahlenden Sternes *vor Erreichung des Verzweigungspunktes* befriedigend dargestellt werden kann durch den Aufbau einer Gaskugel nach der Polytropen $n = 3$. Um nun aber auch „Verzweigungspunkte" in der Entwicklung des Sternmodells studieren zu können, dürfen wir die Rotation nicht mehr vernachlässigen. Der nächste Schritt wird also sein, die Gleichgewichtsfiguren einer rotierenden und strahlenden Gasmasse zu untersuchen, deren innerer Aufbau bei verschwindender Rotation übereinstimmt mit dem

[1]) KIENLE, Naturwissenschaften 12. Jg., H. 24, 1924.

[1]) HELLERICH, Naturwissenschaften 14. Jg., S. 635

Aufbau einer Gaskugel nach der Polytropen $n = 3$. Die mechanische Gleichgewichtsbedingung, die offenbar die Gleichgewichtsfiguren bestimmt, läßt sich sehr einfach formulieren. Sie bildet den Ausdruck dafür, daß Gasdruck und Strahlungsdruck der Gravitationswirkung der Gasteilchen das Gleichgewicht halten müssen. Mathematisch geschrieben lautet sie

$$d(p + p_s) = \varrho d\varphi;$$

dabei ist p der Gasdruck, p_s der Strahlungsdruck, φ das Gravitations- (plus Zentrifugal-) Potential und ϱ die Dichte. Die vier Größen sind Funktionen des Ortes in der gravitierenden und strahlenden Gasmasse.

Eine exakte Theorie der Gleichgewichtsfiguren läßt sich nicht einmal für nicht strahlende, rotierende Gasmassen mit beliebigem polytropem Aufbau, aufstellen, sondern nur für zwei extreme Spezialfälle durchführen, die wir gleich näher besprechen werden. Bei einer Untersuchung rotierender und strahlender Gasmassen muß man sich deshalb im wesentlichen auf rohe qualitative Resultate beschränken. Es geht daraus hervor, daß die theoretischen Betrachtungen über den „kritischen Zustand" der δ-Cephei-Sterne, die von der Voraussetzung ausgehen, dieser sei mit einem „Verzweigungspunkt" im Poincaréschen Sinne zu identifizieren, im allgemeinen nur qualitativer Art sein können. Darin ist die hier entwickelte Theorie zweifellos der Eddingtonschen Pulsationstheorie unterlegen; denn die letztere vermag auch quantitative Resultate zu geben, was der ersteren nur in viel beschränkterem Maße möglich ist. Andererseits vermag aber, wie wir sehen werden, die hier geschilderte Auffassung der kritischen Zustände mehrere fundamentale Beobachtungsergebnisse ohne jeden Zwang wenigstens qualitativ zu erklären, denen gegenüber EDDINGTONS Pulsationstheorie versagt. Dies berechtigt, wie ich glaube, dazu, sie hier auseinanderzusetzen.

Wir wollen zuerst kurz eingehen auf die Untersuchungen über die *Gleichgewichtsfiguren nicht strahlender, rotierender Modelle*, die bei verschwindender Rotation in polytrope Gaskugeln übergehen. Es ist bekannt, daß nur die Gaskugeln der Polytropenklassen $0 \leqq n \leqq 5$ physikalisch realisierbar sind. Denn alle Kugeln, die zu höheren Klassen gehören, besitzen unendliche Masse. Was die Dichteverhältnisse betrifft, so stellen die beiden Grenzfälle $n = 0$ und $n = 5$ Extremfälle dar. $n = 0$ ist die Kugel konstanter Dichte (also äquivalent mit einer homogenen, inkompressiblen Flüssigkeitskugel); $n = 5$ ist die Kugel mit dem stärksten Dichteabfall nach außen. Sie kann schematisiert werden durch ein Modell mit massigem Kern und einer darüberliegenden praktisch masselosen Atmosphäre (äquivalent dem Modell von ROCHE). Diese beiden Fälle sind es auch, für die eine strenge Theorie der Gleichgewichtsfiguren durchgeführt werden kann. Die klassischen Untersuchungen von JACOBI, POINCARÉ u. a. haben gezeigt, daß das Modell $n = 0$, von der Kugel ausgehend, zuerst die abgeplatteten Rotationsellipsoide, dann die Jacobischen dreiachsigen Ellipsoide durchläuft. Diese beiden Reihen von Figuren interessieren uns hier nicht weiter, da sie stabile Zustände darstellen. An die Jacobischen Ellipsoide schließt sich eine weitere Reihe an, die POINCARÉ nach ihrer äußeren Gestalt die birnenförmigen Figuren genannt hat. Von ihnen hat JEANS gezeigt, daß sie säkular instabil, aber ordinär stabil sind. Man unterscheidet in der Theorie der Gleichgewichtsfiguren rotierender Flüssigkeitsmassen zwischen ordinärer und säkularer Stabilität. Ist eine reibungslose Flüssigkeit stabil, so spricht man von ordinärer Stabilität. Bleibt diese auch noch erhalten, wenn Reibungskräfte zugelassen werden, so nennt man die Stabilität eine säkulare. Eine säkular stabile Figur ist also immer auch ordinär stabil, aber nicht umgekehrt. Es gibt somit Figuren, die zwar ordinär stabil, aber säkular instabil sind — die birnförmigen Figuren sind solche —, und diese haben eine interessante Eigenschaft, auf die wir, in ihrer speziellen Form bei den birnförmigen Figuren, noch kurz hinweisen wollen. Der Übergang vom Ellipsoid zur Birnform, also der Übergang von der säkular stabilen zur säkular instabilen Figur, setzt ein durch eine Schwingung, die mit Laméschen Funktionen beschrieben werden kann. *Im Gegensatz zu einer Schwingung um einen stabilen Zustand kann eine Schwingung um einen säkular instabilen, aber ordinär stabilen Zustand eine dauernd endlich bleibende Amplitude besitzen.* Die Schwingung wird hier gespeist durch die Rotationsenergie des Systems. Die einfachste Birnform wird, wegen ihrer säkularen Instabilität, wahrscheinlich, auf was die äußere Form hindeutet, durch eine Zweiteilung endigen. JEANS hat in seiner Theorie der δ-Cephei-Sterne gerade diese Art von Schwingungen benutzt, um den Lichtwechsel dieser veränderlichen Sterne zu erklären. (Näheres findet sich in dem zitierten Referat von HELLERICH.) Übrigens hat schon SCHWARZSCHILD im Jahre 1904 in seiner Vorlesung über Gleichgewichtsfiguren darauf hingewiesen, daß es vielleicht möglich sei, die Cepheiden als birnförmige Figuren aufzufassen. — Ganz anders verhält sich nun das Modell $n = 5$. Es durchläuft, von der Kugel ausgehend, Pseudoellipsoide, die schließlich zur Linsenform ausarten. Hat sich bei der Entwicklung eine scharfe Linsenkante ausgebildet, so beginnt der Instabilitätsprozeß: das Modell verliert Masse längs des Äquators. Die Ansichten über die Vorgänge während des Materieverlustes, insbesondere ob dieser kontinuierlich, wie JEANS meint, oder diskontinuierlich nach POINCARÉ vor sich geht, gehen weit auseinander. Aber bestimmt kann man wohl sagen, daß es sich hier nicht handeln kann um Schwingungen um einen säkular instabilen, aber ordinär stabilen Zustand. Fassen wir das Ergebnis der klassischen Untersuchungen zusammen, so finden wir, daß das Modell $n = 0$, das auf der einen Seite der

physikalisch realisierbaren polytropen Gaskugeln steht, birnförmig, also wohl durch Teilung instabil wird, während das Modell $n = 5$, das die Kugeln nach der anderen Seite begrenzt, durch Materieverlust am Äquator seine Stabilität verliert. Es ist plausibel, zu schließen, daß alle dem Modell $n = 0$ benachbarten Modelle durch Teilung, alle dem Modell $n = 5$ benachbarten Modelle äquatorial instabil werden. Wenn wir alle polytropen Modelle von $n = 0$ bis $n = 5$ durchlaufen, findet also mehr und mehr eine Verschiebung des Instabilitätscharakters vom T-Typus (Teilung) zum A-Typus (Äquator) statt. JEANS hat versucht, dasjenige Modell anzugeben, bei welchem gleichzeitig T- und A-Instabilität stattfindet. Er fand dafür die polytrope Kugel $n = \frac{5}{6}$. Insbesondere setzt also beim nicht strahlenden Modell (des Eddingtonschen Sternes) $n = 3$ zuerst A-Instabilität ein.

Bis jetzt haben wir nur nichtstrahlende, rotierende Modelle betrachtet. Wir haben nun einen Schritt weiterzugehen und *die Wirkung der Strahlung* abzuschätzen. Ich glaube, daß man dazu erfolgreich den folgenden qualitativen Weg einschlagen kann. In die Bedingung mechanischen Gleichgewichts geht die *Summe* von Strahlungsdruck und Gasdruck ein. Es liegt deshalb nahe, auch hier zwei Grenzfälle zu betrachten.

a) Der Strahlungsdruck ist klein gegenüber dem Gasdruck, was eintritt, sobald ein Stern genügend kleine Masse hat.

b) Der Gasdruck ist klein gegenüber dem Strahlungsdruck, was der Fall ist bei Sternen genügend großer Masse.

Fall a: Für $p_s = 0$ geht das Modell über in das nicht strahlende. Die Gleichgewichtsfiguren eines schwach strahlenden rotierenden Eddingtonschen Modellsternes werden also in erster Näherung übereinstimmen mit den Figuren einer rotierenden Gasmasse, die bei verschwindender Rotation übergeht in die polytrope Gaskugel $n = 3$. Von dieser wissen wir aber, daß sie A-Instabilität zeigt. Wir finden also: *Sterne, die nach der Eddingtonschen Theorie aufgebaut sind und kleine Masse besitzen, werden, wenn überhaupt, äquatorial instabil.*

Fall b: E. A. MILNE[1]) hat diesen Fall zuerst, nach ihm auch VON ZEIPEL[2]) durchgerechnet. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist, daß ein genügend massiger Stern, in welchem die Energie nach EDDINGTONS Annahmen erzeugt wird, sich verhält wie ein inkompressibles Modell. *In diesem Falle erhalten wir eine birnförmige Instabilität.*

Wir werden also auf den wichtigen Satz geführt: *Bei Sternen, die im Grenzfall verschwindender Rotation der Eddingtonschen Theorie genügen, ist der Charakter der Instabilität eine Funktion der Masse des Sternes. Mit wachsender Masse findet eine Verschiebung des Instabilitätscharakters vom A-Typus zum T-Typus statt.* Für mittlere Massen werden sich beide Instabilitäten überlagern.

Bei einer Anwendung dieser theoretischen Überlegungen auf kosmogonische Probleme dürfen wir uns nicht verhehlen, daß sie nicht frei von Schwierigkeiten sind, auf die wir deshalb noch kurz aufmerksam machen wollen. Die Überlegungen enthalten zwar keine Hypothese, die nicht auch in die Theorie der „normalen Zustände" einginge. Eine Schwierigkeit erblicke ich vielmehr darin, zu entscheiden, in welchem Maße den *mathematischen* Grenzfällen eine *physikalische* Bedeutung zukommt, d. h. die Größenordnung einerseits derjenigen Massen zu bestimmen, die *rein* äquatorial, und andererseits derjenigen, die *rein* birnenförmig instabil werden. Insbesondere geht bei der Anwendung dieser qualitativen Resultate auf das Problem der δ-Cephei-Sterne die Hypothese ein, daß wir es bei dieser Klasse von Sternen mit „mittleren Massen" zu tun haben, bei denen gleichzeitig beide Arten von Instabilität auftreten.

6. *Die δ-Cephei-Sterne.* Aus der Verteilung der kurzperiodischen ($P < 1^d$) und langperiodischen ($P > 1^d$) Cepheiden in manchen Kugelsternhaufen kann man schließen, daß diese Klasse von Veränderlichen sich über einen verhältnismäßig großen Bereich der Masse verteilt. Die kurzperiodischen Cepheiden sind zahlreich in den Randteilen der Haufen zu finden. Langperiodische dagegen findet man nur ganz im Zentrum der Haufen. Dies ist so ausgeprägt, daß sie überhaupt nur bei kurzen Expositionszeiten gefunden werden können, wenn die große Zahl schwächerer Sterne im Zentrum noch nicht auf der Platte erscheint. Wir müssen also annehmen, daß die Masse der Cepheiden bei wachsender Periode stark zunimmt.

Wenn wir also überhaupt die Cepheiden auffassen wollen als säkular instabile Zwischenzustände in der Sternentwicklung, so ist es sehr wahrscheinlich, daß sich bei dem verhältnismäßig großen Intervall, über das sich die Massen der δ-Cephei-Sterne zu verteilen scheinen, die Verschiebung des Instabilitätscharakters mit der Masse bemerkbar macht. Eine Theorie, die zur Erklärung mancher Erscheinungen bei den langperiodischen Cepheiden ausreicht, dürfte bei den kurzperiodischen auf Schwierigkeiten stoßen und umgekehrt. In der Tat ist dies der Fall. Die Theorie von JEANS, die nur mit dem Instabilitätscharakter von großen Massen operiert, versagt, wie wir sehen werden, für Cepheiden, deren Periode kleiner ist als etwa 6 Tage.

Für große Massen gehen die hier entwickelten Überlegungen in diejenigen von JEANS über, die wir beiseite lassen können, da HELLERICH hierüber eingehend referiert hat. Was wir tun wollen, ist, zuzusehen, ob die exaktere Behandlung der Frage nach den Gleichgewichtsfiguren rotierender und strahlender Modelle uns in bezug auf die Cepheiden kürzerer Periode nicht weiter führen kann als die Jeanssche Theorie. Deshalb wollen wir zuerst diejenigen Beobachtungsdaten aufzählen, die die

[1]) MILNE, Monthly Notices **83**, 140.
[2]) v. ZEIPEL, Monthly Notices **84**, 665.

Jeanssche Theorie nicht zwanglos zu erklären vermag. — Über die Lichtkurven der δ-Cephei-Sterne verschiedener Periode existiert zur Zeit noch kein umfangreiches und ganz gesichertes Material. Aber ich glaube, daß man doch einige charakteristische Unterschiede zwischen den Lichtkurven kurzperiodischer und langperiodischer Cepheiden als gesichert ansehen kann. Das ist vor allem das Auftreten solcher sekundärer Maxima im Lichtwechsel, die *regelmäßig* in jeder Periode wiederkehren. Diese Schwankungen sind bis jetzt nur bei langperiodischen Cepheiden beobachtet worden.

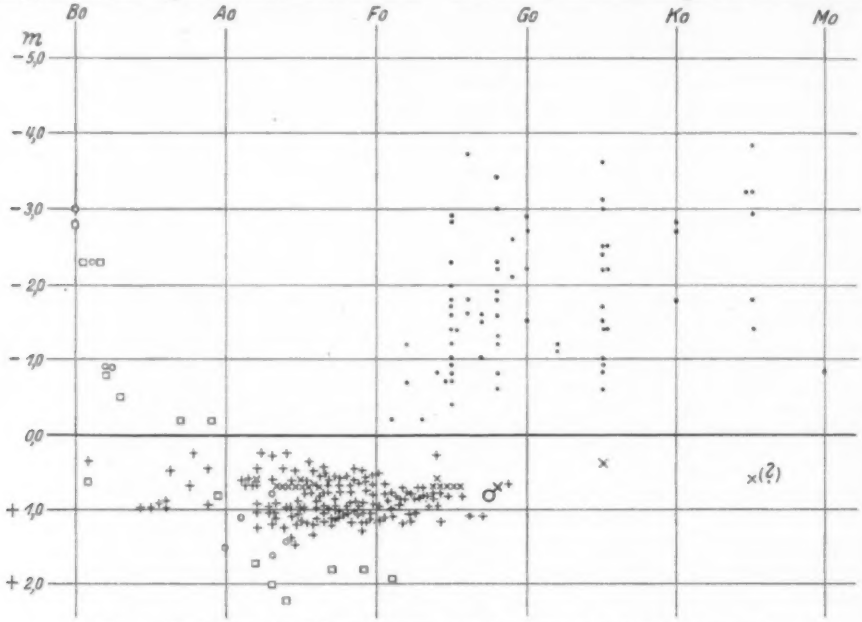

Fig. 3. Verteilung der δ-Cephei-Sterne nach Leuchtkraft und Spektraltypus.
· Langperiodische galaktische Cepheiden $1^d < P < 40^d$.
× Kurzperiodische galaktische Cepheiden.
+ Haufenveränderliche Cepheiden.
○ □ } Spektroskopische Doppelsterne { mit kleiner Exzentrizität / vom β-Can. maj. Typus.

Man kann, was HERTZSPRUNG[1]) gezeigt hat, nicht sagen, daß solche sekundären Wellen bei allen Lichtkurven von langperiodischen Cepheiden auftreten; dagegen ist wohl sicher, daß sie bei den kurzperiodischen fehlen. Dort zeigen sich vielmehr öfters, im Gegensatz zu den langperiodischen Cepheiden, kleine *unregelmäßige* Schwankungen der Lichtkurven von Periode zu Periode. In der Jeansschen Theorie des Lichtwechsels der Cepheiden tritt ein Rotationsglied auf, das die *regelmäßigen* sekundären Schwankungen hervorruft; es rührt davon her, daß eine birnförmige Figur uns im allgemeinen nicht immer eine gleichgroße leuchtende Oberfläche zukehrt. Die sekundären Maxima können nur dann fehlen, wenn die Rotationsachse des Sternes mit der Gesichtslinie zusammenfällt. Faßt man nun aber *alle* Cepheiden als birnförmige Figuren auf, so ist das Fehlen des Rotationsgliedes bei *allen* kurzperiodischen Cepheiden unverständlich. — Bei den δ-Cephei-Sternen besteht nicht nur eine Korrelation zwischen Periode und Leuchtkraft, sondern, wenn auch nicht so ausgeprägt, ebenfalls eine solche zwischen Periode und Spektraltypus, und zwar in dem Sinne, daß die Temperatur wächst mit abnehmender Periode. Die Verteilung der Cepheiden nach Spektraltypus und Leuchtkraft ist in Fig. 3 dargestellt. Was sofort in die Augen fällt, ist der Unterschied in der Verteilung der langperiodischen und kurzperiodischen Veränderlichen. Die *langperiodischen Cepheiden* ($1^d < P < 40^d$) sind über ein relativ enges Spektralgebiet verteilt, das *gegen hohe Temperaturen, etwa bei F 5, eine ausgeprägt scharfe Grenze* besitzt. Die *kurzperiodischen Cepheiden* dagegen überdecken den Spektralbereich von *Go* bis *Bo* ziemlich gleichmäßig, *ohne daß das Gebiet nach der Seite höherer Temperaturen scharf begrenzt wäre*. Diese charakteristische Differenz vermag die JEANSSche Theorie ebenfalls nicht zu erklären.

[1]) HERTZSPRUNG, B. A. N. 3, 115.

Der Unterschied zwischen der Theorie von JEANS und der hier entwickelten Auffassung besteht darin, daß hier die Cepheiden betrachtet werden als instabile Zustände, in denen sich T-Instabilität und A-Instabilität überlagern, wobei mit wachsender Masse des Sternes, d. h. zunehmender Periode die A-Instabilität gegenüber der T-Instabilität immer mehr zurücktritt. Es ist leicht einzusehen, daß das (in der Jeansschen Theorie fehlende) bei kurzen Perioden immer stärker werdende Auftreten der A-Instabilität neben der T-Instabilität gerade die obigen Punkte qualitativ zu erklären gestattet. Was zunächst die Lichtkurven anbetrifft, so wird der „primäre Lichtwechsel", genau wie bei JEANS, bei *allen* Cepheiden durch die vorhandene T-Instabilität hervorgerufen, die in Schwingungen um einen säkular instabilen, aber ordinär stabilen Zustand besteht. Bei kurzen Perioden aber überlagert sich eine merkbare A-Instabilität, die der Gleichgewichtsfigur eine symmetrische Oberfläche erteilt, so daß die Rotationseffekte verschwinden. An ihre Stelle können aber, durch den Verlust von Materie längs des Äquators, unregelmäßige sekundäre Lichtschwankungen treten.

Die Korrelation zwischen Spektraltypus und Periode ergibt sich ebenfalls zwanglos aus der Vorstellung stärker werdender A-Instabilität, d. h. größeren Massenverlustes längs des Äquators, bei kleiner werdender Periode. Massenverlust eines Sternes auf dem Riesenast bedeutet, nach den Betrachtungen des § 2, ein Vorwärtsschreiten des Sternes zu früherem Spektraltypus, so daß also nach der Theorie eine Zunahme der Temperatur mit abnehmender Periode zu erwarten ist, ein Zusammenhang, der durch die Beobachtungen voll bestätigt wird.

Endlich wollen wir noch kurz hinweisen auf eine Bemerkung von HENROTEAU[1]), die nun eine einfache Erklärung findet. HENROTEAU stellt fest, daß bei den kurzperiodischen Cepheiden, im Gegensatz zu den langperiodischen, gewisse Eigentümlichkeiten in Spektrum und Lichtwechsel auftreten, die nicht durch eine reine Pulsation erklärt werden können. Er sagt: „Are we then to assume that in the short-period variables, and in them alone, there is present a satellite whose tidal action is superimposed upon the true Cepheid variation of the primary? Or is it more logical to suppose that the satellite is present in all cases, and forms one of the necessary conditions and causes of Cepheid variation, the secondary perturbations in the case of the longer-period stars being so small as in most cases to have escaped notice or be practically evanescent?" Wenn wir A-Instabilität in Betracht ziehen, so übernimmt die am Äquator ausgestoßene Materie die Rolle des Satelliten und ruft auf der primären Masse Gezeitenwirkungen hervor, die um so größer sein werden, je kürzer die Periode ist. Es ist danach nicht verwunderlich, daß die von HENROTEAU erwähnten Eigentümlichkeiten nur bei Cepheiden kurzer Perioden beobachtet werden.

Die hier vorgeschlagene Erweiterung der Jeansschen Theorie durch eine exaktere Erfassung der Gleichgewichtsfiguren rotierender und strahlender Gasmassen gestattet, die eben besprochenen charakteristischen Beobachtungsdaten, wenn auch nur qualitativ, befriedigend zu beschreiben. Ich glaube, daß dies ein starkes Argument dafür ist, daß wir dazu berechtigt sind, den „kritischen Zustand" der δ-Cephei-Sterne mit einem „instabilen Zustand" zu identifizieren. Wir kommen hierauf im folgenden Paragraphen noch eingehender zu sprechen.

7. *Ein empirisches Argument gegen die Pulsationstheorie.* Wir haben als einen besonders charakteristischen Unterschied in der Verteilung der kurz- und langperiodischen δ-Cephei-Sterne im Russell-Diagramm hervorgehoben, daß das Gebiet der langperiodischen Cepheiden eine ausgeprägt scharfe Grenze gegen höhere Temperaturen aufweist, die bei den kurzperiodischen fehlt. Die letzteren finden wir bis zu den höchsten Temperaturen, die von „normalen" Sternen erreicht werden. *Die scharfe Begrenzung des Gebietes der langperiodischen Cepheiden ist es, die*, wie ich glaube, *gegen die Eddingtonsche Pulsationstheorie spricht.* Denn — wir haben darauf in § 4 hingewiesen — die Auffassung der Cepheiden als Sterne, die um einen stabilen Zustand adiabatisch schwingen, bedingt eine *kontinuierliche Weiterentwicklung* zu benachbarten Zuständen, so daß der Bildpunkt eines solchen Sternes im Russell-Diagramm aus dem Gebiet der δ-Cephei-Sterne *kontinuierlich in Nachbargebiete* wandern muß. Bei den kurzperiodischen Cepheiden begegnen wir hier keinen Schwierigkeiten, wohl aber, wie ich glaube, bei den langperiodischen. Diese können sich sicher nicht kontinuierlich zu Sternen höherer Temperatur und annähernd konstanter Leuchtkraft entwickeln. Sonst wäre das vollständige Fehlen von A-Riesen mit negativer absoluter Größe, wie es Fig. 1 so deutlich zeigt, nicht zu verstehen. Die einzige Möglichkeit wäre die, daß diese Sterne das Gebiet der langperiodischen Cepheiden verlassen in der Richtung langsam wachsender Temperatur und verhältnismäßig rasch abnehmender Leuchtkraft, um in den Zwergast einzumünden. Sie müßten dann aber das Gebiet der kurzperiodischen Cepheiden durchwandern, und man käme zu der Vorstellung, daß im Laufe der Entwicklung die Pulsationen immer kurzperiodischer würden. Dies scheint aber den empirischen Erfahrungen aus den Farbenhelligkeitsdiagrammen von Kugelsternhaufen zu widersprechen. Ein Vergleich der Diagramme von Messier 3 und Messier 13[1]) zeigt, daß wir M. 13 als den älteren Haufen ansprechen müssen. Nun enthält aber M. 3 zahlreiche kurzperiodische Cepheiden und keine langperiodischen, während M. 13 auffallend reich an langperiodischen und arm an kurzperiodischen δ-Cephei-Sternen ist. Ich glaube, daß dies die große Unwahrscheinlich-

[1]) HENROTEAU, Publ. of the Dom. Obs. Ottowa **2**, Nr. 1.

[1]) TEN BRUGGENCATE, Seeliger-Festschrift 1924, S. 50.

keit der oben entwickelten Vorstellung dartut, nach der die kurzperiodischen Cepheiden aus den langperiodischen hervorgehen müßten. *Wir werden also, mehr oder weniger zwangsläufig, zur Konsequenz geführt, daß es aus dem Gebiet der langperiodischen Cepheiden keinen kontinuierlichen Übergang in „normale Zustände" gibt.* Das heißt aber, da der kritische Zustand der δ-Cephei-Sterne nach allen unseren physikalischen Anschauungen nicht dauernd erhalten bleiben kann: *Die Bildpunkte im Russell-Diagramm verlassen das Gebiet der langperiodischen Cepheiden sprunghaft.* Es muß also, wenn ein Stern im Lauf seiner Entwicklung den Zustand der langperiodischen Cepheiden erreicht hat, durch säkulare Instabilität ein *dynamischer* Prozeß einsetzen, wobei der Zustand des Endprodukts dem Ausgangszustand nicht benachbart zu sein braucht. Ganz konsequent werden wir so auf die Theorie von JEANS geführt, aber, wie ich hervorheben möchte, *nur* für die langperiodischen Cepheiden. Denn die eben gemachten Ausführungen treffen nicht zu für die kurzperiodischen Veränderlichen.

Nach vollzogener Teilung durch T-Instabilität müssen, wie man sich an Hand der Fig. 2 leicht klarmachen kann, die Bildpunkte der Komponenten des entstandenen Doppelsternes in einem dem Gebiet des „Elternsternes" nicht benachbarten Gebiet liegen. Es ist eine der schönsten Stützen der Jeansschen Auffassung der langperiodischen Cepheiden als sich bildender Doppelsterne, daß, wenn man aus Leuchtkraft und Temperatur der Komponenten von spektroskopischen Doppelsternen mit kleiner Exzentrizität rückwärts (nach Fig. 2) Leuchtkraft und Temperatur des „Elternsternes" ausrechnet, man in das Gebiet der langperiodischen Cepheiden gelangt. In Fig. 3 sind die helleren Komponenten einiger spektroskopischer Doppelsterne eingezeichnet.

Es ist aber auch klar, daß wir die kurzperiodischen Cepheiden nicht als sich bildende Doppelsterne auffassen können. Die Bildpunkte der aus der Teilung hervorgehenden Komponenten könnten im allgemeinen, wie man leicht übersieht, nicht in das Gebiet der spektroskopischen Doppelsterne mit geringer Exzentrizität fallen, die fast ausnahmslos zu den A-Riesen gehören. Wir haben hier einen neuen Hinweis auf das Versagen der Jeansschen Theorie für die kurzperiodischen Veränderlichen vom δ-Cephei-Typus. Ihre Weiterentwicklung muß eine wesentlich andere sein als diejenige der langperiodischen Cepheiden.

8. *Kurzperiodische Cepheiden und planetarische Nebel.* Der Instabilitätscharakter der Cepheiden kurzer Perioden unterschied sich, wie wir sahen, dadurch von demjenigen der Cepheiden langer Perioden, daß die Wirkung der A-Instabilität nicht mehr vernachlässigt werden darf. Grob gesprochen, können wir uns etwa das folgende Modell für einen kurzperiodischen δ-Cephei-Stern konstruieren: Ein Kern, dessen Oberfläche im wesentlichen nach Laméschen Funktionen schwingt, wodurch der primäre Lichtwechsel hervorgerufen wird, und darüber eine Atmosphäre, deren Instabilitätscharakter, da sie sicher nicht als inkompressibel behandelt werden kann, im wesentlichen vom A-Typus ist. In Wirklichkeit wird auch der Kern durch A-Instabilität Masse verlieren, so daß der Prozeß wahrscheinlich darin besteht, daß der Kern immer kleiner, die Atmosphäre immer größer wird. Der Massenverlust des Kernes bedingt aber, wie wir sahen, steigende Temperatur, also ein kontinuierliches Wandern des Bildpunktes von späten zu früheren Spektraltypen. Gibt es nicht einen empirischen Befund, der diesen theoretischen Schluß wahrscheinlich macht? In den kugelförmigen Sternhaufen kennt man eine Reihe von Sternen, die mit den Haufenveränderlichen oder kurzperiodischen Cepheiden, soweit man aus ihrer Verteilung im Farbenhelligkeitsdiagramm schließen kann[1]), eng zusammenzuhängen scheinen. Ich habe sie, vielleicht nicht ganz geschickt, „Übergiganten" genannt. Vergleicht man den mittleren Farbenindex (also im wesentlichen den mittleren Spektraltypus) der Übergiganten in den beiden Sternhaufen Messier 3 und Messier 13, so findet man beim ersteren etwa den Wert $+ 0^{m}.15$, beim letzteren etwa $- 0^{m}.10$. In Spektraltypen ausgedrückt, heißt dies, daß die Übergiganten in M. 3 durchschnittlich vom Typus A 4, in M. 13 dagegen vom Typus B 8 sind. Mit zunehmendem Alter — wir sahen, daß M. 13 älter als M. 3 ist — sind also diese Sterne kontinuierlich in das Gebiet höherer Temperaturen gerückt. Nimmt man den Zusammenhang zwischen Übergiganten und Haufenveränderlichen als wahrscheinlich an, so ist dadurch die oben gezogene theoretische Folgerung einigermaßen gestützt.

In diesem Zusammenhang ist es bemerkenswert, daß an der Spitze des Russell-Diagramms „Sterne" vorkommen, ich meine die planetarischen Nebel, von denen JEANS[2]) schon vor einer Reihe von Jahren gezeigt hat, daß sie aufgefaßt werden können als schließliche Endprodukte eines instabilen Prozesses vom Charakter des Rocheschen Modells, also vom A-Typus. Nun kommen wir auf theoretischem Wege, gestützt durch einige empirische Daten, zu der Anschauung, daß den kurzperiodischen Cepheiden im wesentlichen der gleiche Instabilitätscharakter zukommt, wie den planetarischen Nebeln. Bedarf es da noch eines großen Schrittes, um zwischen beiden Objekten einen tieferen kosmogonischen Zusammenhang zu vermuten, etwa in dem Sinne, daß der instabile Zustand, der durch den charakteristischen Lichtwechsel der kurzperiodischen Cepheiden sich dokumentiert, ein Zwischenstadium darstellt in der Entwicklung eines Sternes zum planetarischen Nebel?

Was bis jetzt alle Schlüsse in dieser Richtung noch sehr unsicher macht, sind die wenig gesicher-

[1]) TEN BRUGGENCATE, Seeliger-Festschrift 1924, S. 50.
[2]) JEANS, Problems of cosmogony and stellar dynamics. Cambridge 1919, S. 247 ff.

ten Daten über Leuchtkraft und Masse der planetarischen Nebel. Da die kurzperiodischen Cepheiden sicher keine große Masse besitzen, sondern an Masse etwa der Sonne gleichkommen mögen[1]), so müssen wir folgern, wenn beide Arten von Himmelsobjekten in einem kosmogonischen Zusammenhang stehen sollen, daß auch den planetarischen Nebeln keine großen Massen zukommen können.

9. *Radialgeschwindigkeit und galaktische Verteilung der planetarischen Nebel.* Bei den bisherigen Versuchen, die planetarischen Nebel in das Schema der Sternentwicklung einzuordnen, ergaben sich vielfach erhebliche Schwierigkeiten. Nach ihrem Spektrum sind diese Objekte sicher an die Spitze der Spektraltypen zu stellen. Dann gelangt man aber zu einem Widerspruch im Gang der mittleren Radialbewegungen mit den Spektraltypen. Dies zeigt die folgende Tabelle:

Spektraltypus	Realgeschwindigkeit. 30 km/sec
P	7,0
B	11,8
A	14,5
F	15,8
G	15,9
K	17,2
M	

Die planetarischen Nebel fallen mit ihren großen Radialgeschwindigkeiten vollkommen aus der Reihe der „normalen Sterne" heraus. Wenn man ihnen eine große Masse zuerkennt, wird die Schwierigkeit noch größer. Sie verschwindet, sobald man einen Zusammenhang zwischen den kurzperiodischen Cepheiden und den planetarischen Nebeln als vorhanden annimmt. Denn von den letzteren weiß man, daß sie zu der Gruppe von Sternen großer Geschwindigkeiten gehören.

Die scheinbare Verteilung der galaktischen Cepheiden am Himmel hat, wie man weiß, eine große Ähnlichkeit mit der scheinbaren Verteilung der Kugelsternhaufen. Nun besteht aber auch eine überraschende Ähnlichkeit in der scheinbaren Verteilung der Kugelsternhaufen mit derjenigen der planetarischen Nebel[1]). Sie ist so auffallend, daß CHARLIER hierin eine starke Stütze für seine Auffassung der Kugelhaufen als Glieder des engeren Sternsystems erblickte. Wir sehen also, daß die galaktische Verteilung der planetarischen Nebel nicht gegen einen Zusammenhang mit den Cepheiden spricht.

Wenn man die Ansicht, daß sich aus langperiodischen δ-Cephei-Sternen spektroskopische Doppelsterne bilden, die kurzperiodischen aber mit den planetarischen Nebeln in kosmogonischem Zusammenhang stehen, als nicht genügend begründet verwirft, so möge man der hier entwickelten Theorie zugute halten, daß sie mit einem Minimum von Hypothesen — die übrigens alle schon in der Eddingtonschen oder Jeansschen Theorie enthalten sind — die wichtigsten instabilen Zustände in das Schema der Sternentwicklung einzureihen versucht. Die obigen Untersuchungen bilden die konsequente Durchführung einer Idee, die ich zuerst in der SEELIGER-Festschrift an Hand von Farbenhelligkeitsdiagrammen von Sternhaufen ausgesprochen und in einer Arbeit über die Absorption des Lichtes in offenen Sternhaufen[2]) zu stützen versucht habe.

[1]) PANNEKOEK, B.A.N. 3, 47.

[1]) CHARLIER, Meddel. Lund Serie II, 2, Nr. 19.

[2]) TEN BRUGGENCATE, Zeitschr. f. Physik 29, 263.

Besprechungen.

BETHE, A., G. v. BERGMANN, G. EMBDEN und A. ELLINGER, **Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie.** XI. Band: Receptionsorgane I (E/3, Tangoreceptoren, Thermorezeptoren, Chemoreceptoren, Phonoreceptoren, Statoreceptoren). Berlin: Julius Springer 1926. XIV, 1062 S. und 236 Abbild. 17 × 26 cm. Preis RM 81.—, geb. RM 88.50.

Von dem groß angelegten Handbuch liegt ein neuer Band vor, der schon in seinem Titel die Prägung modernen Geistes offenbart, in dem die von BEER, BETHE und UEXKÜLL eingeführte Nomenklatur zugrunde gelegt, aber auch in allen ihren Konsequenzen, die weit mehr als bloße Nomenklatur sind, soweit das bei biologischen Dingen angängig ist, durchgeführt wird. Eine prachtvolle Einleitung zur Physiologie der Sinne von WEIZSÄCKER, voller neuer und tiefer Gedanken bildet den würdigen Anfang dieses in seiner Ganzheit so reichen Bandes. Auf die vergleichende Physiologie der Tangorezeptoren bei Tieren von HERTER und der Tangorezeptoren bei Pflanzen von STARK folgt die feinsinnige Studie von FREY über die Tangoreceptoren der Menschen, in denen der seit Jahren auf diesem Gebiete führende Autor dem abgerundeten Bilde des Erreichten eine Menge neue Züge hinzugefügt hat. Das soeben Gesagte läßt sich, ohne daß es eine bloße Wiederholung wäre, von GOLDSCHEIDERS Darlegung des Temperatursinnes des Menschen aussagen. Der Anlage des Werkes entsprechend folgen dann die durch Temperaturunterschiede hervorgerufenen Bewegungen bei Pflanzen von SIERP und die Thermotaxis und Hydrotaxis bei Tieren von HERTER. GOLDSCHEIDER, dem wir so viel zur Aufklärung des Schmerzes verdanken, gibt ein etwas subjektiv gefärbtes, aber doch anderen Anschauungen gerecht werdendes und durch reiche Erfahrung aus der Pathologie vervollständigtes Bild der Physiologie und Pathologie des Schmerzes. In dem Hauptabschnitt Chemoreceptoren finden sich zwei durch Originalität des Gedankenganges und der Methodologie ausgezeichnete Unterabschnitte in der vergleichenden Physiologie des Geruch- und Geschmacksinnes von v. FRISCH und in der Physiologie des Geschmacksinnes von v. SKRAMLIK; ferner enthält die Lehre von den Chemoreceptoren noch den gediegenen Geruchsinn beim Menschen von F. B. HOFMANN, den Chemotropismus, Chemomonastie und Chemotaxis bei Pflanzen von SEYBOLD und die Psychologie der chemischen Sinne von HENNING, die mannigfache sinnespsychologische Anregungen enthält. Die Phonoreceptoren leitet MANGOLD mit dem Abschnitt „das äußere und mittlere Ohr und ihre physiologischen Funktionen" ein, ein Abschnitt, der sehr viel Neues, namentlich nach der methodologischen Seite hin, enthält. Auf die pathologische Physiologie des schalleitenden Apparates folgt ein

anatomisches Kabinettstück, welches kein Physiologe in diesem Werke missen möchte, HELDS Beschreibung der Cochlea der Säuger und der Vögel, ihre Entwicklung und ihr Bau. Die Hörschwellen und Hörgrenzen von GILDEMEISTER und die Hörprüfungen bei Normalen und Kranken sind wertvolle methodologische Ergänzungen zur Phonoreceptorenlehre. Die beiden Abschnitte von WAETZMANN, Ton, Klang und sekundäre Klangerscheinungen und die Hörtheorien sind eine ebenso elegante wie gründliche Erörterung des namentlich nach der physikalischen Seite nicht leichten Problems. Der auf diesem Gebiete berufene Autor hat es verstanden, eine glänzende Apologie der HELMHOLTZschen Lehre zu schaffen und wird trotzdem dabei den Tatsachen und Auffassungen, welche andere Vorstellungen als die HELMHOLTZschen vertreten, gerecht. Die psychologische Seite kommt in v. HORNBOSTELS Das räumliche Hören und die Psychologie der Gehörserscheinungen zu ihrem Rechte. Wenn die vergleichende Physiologie des Gehörs von KREIDL, Die pathologische Physiologie des Labyrinths und der Cochlearisbahn von RHESE, Die Pharmakologie und Toxikologie des Ohres von RHESE, Die Labyrinthneurosen und die psychogenen Hörstörungen von KÜMMEL nur erwähnt werden, so geschieht dies ausschließlich nur der gebotenen Kürze wegen. Der über 200 Seiten große Abschnitt Statoreceptoren dokumentiert so recht den Fortschritt der Physiologie gegenüber der Zeit des klassischen HERMANNschen Handbuches der Physiologie vom Jahre 1880, in dem es einen solchen Abschnitt überhaupt nicht gab. In sachkundigster Weise bringt KOLMER den Bau der statischen Organe. Auf die kurze, doch interessante Schilderung der Funktionen der statischen Organe folgt Die Funktion des Vestibularapparates (der Bogengänge und Otolithen) bei Fischen, Amphibien Reptilien und Vögeln, die M. H. FISCHER in einer sachlich und methodologisch sehr vollständigen, durch neueste Erfahrungen wertvoller Art ergänzten Weise bearbeitet hat. Mit hohem Genuß wird man Die Funktion des Bogenganges und Otolithenapparates, bei Säugern von MAGNUS und DE KLEIJN lesen. Jede neue Darlegung des Arbeitsgebietes des Utrechter Pharmakologischen Institutes rundet sich zu einem Kunstwerk des logischen Aufbaues und der Methodik. Das gleiche gilt von der Theorie über die Funktion des Bogengangs- und Otolithenapparates von Säugern von den gleichen Autoren, wo Tatsächliches und Theoretisches harmonisch verflochten wird. Sehr gründlich behandelt GRAHE die Funktion des Bogengangsapparates und der Statolithen beim Menschen. Der leider zu früh verstorbene ROHRER hat gemeinschaftlich mit MASUDA in dem Abschnitt Physikalische Vorgänge im Bogengangsapparat und Otolithenapparat in der ihm eigenen Weise durch Anwendung streng physikalischer Betrachtungsweisen ganz neue Gesichtspunkte in die Materie hineingetragen. Ein Anhang, bestehend aus Geotropismus bei Pflanzen von JOST, Geotropismus bei Tieren ohne statische Apparate von v. BUDDENBROCK, und Galvanotaxis von KÖHLER beschließt diesen Band, der eine neue Bereicherung der physiologischen Weltliteratur bedeutet.

LEON ASHER, Bern.

KATZ, DAVID, **Sozialpsychologie der Vögel.** Ergebnisse der Biologie. Band I. Berlin: Julius Springer 1926.

Der Verf. unterzieht die verschiedenen psychologischen Vorgänge und Erscheinungen, die beim sozialen Leben der Vögel zur Geltung kommen, einer eingehenden Betrachtung. In einzelnen Kapiteln werden die Mittel der gegenseitigen Erkennung, das Ehe- und Familienleben, das Leben in Mischgesellschaften, die Despotie und soziale Rangordnung, die beim geselligen Leben auftreten, geschildert. Als gegenseitige Erkennungsmittel kommen bei den Vögeln nur akustische und optische Reize in Betracht. Hühner, Gänse, Enten und Schwäne erkennen sich gegenseitig am Gesicht. Bindet man einem Huhn den Kamm nach der anderen Seite, als er für gewöhnlich liegt, so wird es von den anderen Hühnern als ein fremdes Individuum betrachtet. Bei den Tagvögeln spielen die optischen, bei den Nachtvögeln die akustischen Verständigungsmittel die Hauptrolle. Als gegenseitiges Verständigungsmittel im sozialen Leben der Vögel dienen auch bestimmte Rufe und Laute, mit denen ganz bestimmte Affekte und Empfindungen ausgedrückt werden (Lock-, Angst-, Warn- und Hilferufe). Ein zwingender Grund dafür, daß diese Laute in der Absicht hervorgebracht werden, um sich mit den Artgenossen zu verständigen, läßt sich nicht nachweisen, denn die Vögel lassen die Laute auch vernehmen, wenn sie allein sind, und eine Verständigungsmöglichkeit nicht vorliegt. Die Laute scheinen nur der Ausdruck des subjektiven Empfindens zu sein. Neben den Lautäußerungen wenden die Vögel zur gegenseitigen Verständigung auch eine Zeichensprache an, wie z. B. das Sträuben des Gefieders oder Schnabelbewegungen. Diese Ausdrucksbewegungen können bei verschiedenen Vogelarten ganz verschiedene Bedeutung haben. Der Truthahn will durch Gefiedersträuben seinem Weibchen imponieren, der Höckerschwan aber seinen Gegner einschüchtern. Bei dem geselligen Leben der Vögel macht sich häufig eine genaue Rangordnung geltend, indem einzelne Individuen die Vorherrschaft und die Oberhand über andere gewinnen und von letzteren dann als Despoten anerkannt werden. Meist hat das männliche Geschlecht den Vorrang vor dem weiblichen. Eine Ausnahme findet beim Sperling statt, wo das Weibchen der Despot ist.

Die Schrift gibt eine wertvolle Zusammenstellung über die Sozialpsychologie der Vögel. Leider hat der Verf. die neuesten Forschungen, die über das Seelenleben und die Sozialpsychologie der Papageien in der ornithologischen Literatur veröffentlicht sind, nicht berücksichtigt. Bei den Singvögeln sind bisweilen nicht nur der Gesang, sondern häufig sogar die einfachen Locktöne keine erblichen Eigenschaften und müssen erst durch Beispiel erworben werden. So kennt ein von mir jung aufgezogener Stieglitz nicht einmal den Lockton des Stieglitz.

F. VON LUCANUS, Berlin.

KRÜGER, PAUL, **Tierphysiologische Übungen.** Berlin: Gebrüder Borntraeger 1926. XXXV, 518 S. und 180 Abbildungen. Preis RM 30.—.

Das Werk enthält mehr als sein entschieden zu kurzer Titel verrät. Der „verbindende Text" zu den Versuchen erweist sich als vollständiger, gut abgerundeter Grundriß der Physiologie, der in den Versuchen seine praktische Erläuterung findet.

Dem eigentlich physiologischen Teil werden zwei einleitende Abschnitte vorausgeschickt: „Physikalisch-chemische Grundlagen" und „Substrat der Lebenserscheinungen", welche, wie Verfasser mit Recht urteilt, notwendig erscheinen wegen der „zumeist geringen Kenntnisse" sowohl der physikalisch-, als auch der analytisch-chemischen Methoden „seitens der Biologiestudierenden". Aber auch für viele Zoologen, die sich mit dem Studium physiologischer Probleme befassen, werden diese Abschnitte sich als sehr nützlich erweisen. In der den eigentlich physiologischen Teil eröffnenden „allgemeinen Charakteristik der Lebenserscheinungen" bekennt Verfasser sich zu

einem gemäßigten Mechanismus. Zwar meint er, worin das Leben eigentlich bestehe und woran es letzten Endes gebunden sei, das sei uns völlig unbekannt, äußert aber gleich darauf die Vermutung, daß alle Lebensvorgänge wahrscheinlich auf physikochemische Umsetzungen zurückgehen. Dieser Standpunkt wird heute wohl von der Mehrzahl der forschenden, wenn auch nicht der lediglich spekulierenden Biologen gebilligt werden. Weniger dürfte das bei zwei anderen Thesen dieses Abschnittes der Fall sein. Verfasser meint, „das Substrat des Lebens weise stets eine ganz bestimmte morphologische Struktur auf: das Getrenntsein in Zellprotoplasma und Zellkern". Für Tiere mag diese Behauptung dem heutigen Stande unserer Kenntnisse entsprechen. Für die Pflanzen aber trifft sie schon jetzt nicht mehr zu. Mögen auch alle Bakterien, wie manche Forscher wollen, Chromatin enthalten, so ist dieses doch bei zahlreichen unter ihnen noch nicht in einem besonderen Zellorgan gesammelt; zur Scheidung von Plasma und Kern ist es noch nicht gekommen. Hier zeigt sich wieder, daß sich eine allgemeine Physiologie ohne Berücksichtigung des Pflanzenreiches eigentlich nicht schreiben läßt. Ferner hätte Verfasser unter den zur Verfügung stehenden Definitionen des Reizbegriffes eine weniger falsche und irreführende auswählen können, als die VERWORNsche (Reiz = Veränderung der äußeren Bedingungen, die zu einer Beeinflussung der Lebensvorgänge führt). Wohl berechtigt ist dagegen des Verfassers Bruch mit der tatsächlich veralteten Einteilung der Funktionen in vegetative und animalische. Er stellt die Reizphysiologie an die Spitze und läßt ihr als weitere Hauptabschnitte die Stoffwechselphysiologie, die Physiologie des Energieumsatzes und die Physiologie des Formwechsels folgen. Zwei zusammenfassende Abschnitte: Gesamtstoff- und Energiewechsel und Physiologie der Korrelationen, schließen den theoretischen Teil. Wenn lückenlose Vollständigkeit auch weder zu erreichen noch beabsichtigt war, so dürfte doch alles wichtige genügend berücksichtigt sein. Am kürzesten ist der Abschnitt Formwechsel ausgefallen (nur etwa 5 Seiten Text und 6 Seiten Versuche).

Die Versuche sind instruktiv, gut ausgewählt und erfordern kein kompliziertes Instrumentarium. Die Trennung der Versuche vom Text im Inhaltsverzeichnis ist zweckmäßig, weil sie das Aufsuchen bestimmter Abschnitte sehr erleichtert. Die dem Buche beigegebene Literatur-, Sach- und Tiernamenverzeichnisse erhöhen ebenfalls seine Brauchbarkeit.

J. GROSS, Neapel.

BRAUN, M., und O. SEIFERT, **Die tierischen Parasiten des Menschen.** 2. Teil: O. SEIFERT, Klinik und Therapie der tierischen Parasiten des Menschen. Leipzig: Kurt Kabitzsch 1926. 8°. VI, 574 S. und 21 Abb. Preis geh. RM 27.—, geb. RM 29.40.

Der soeben erschienene 2. Teil von SEIFERT ergänzt den 1. Teil von BRAUN, der sich mit der Naturgeschichte der tierischen Parasiten des Menschen befaßte. Es werden im einzelnen behandelt die klinischen Erscheinungen nach dem Befall durch die tierischen Parasiten und die Therapie. In folgende Gruppen wird der Stoff eingeteilt: Amoebina, Flagellata, Trypanosomiden, Haemosporidia, Infusoria, Plathelminthes, Zestoden, Echonokokkus, Nematoden, Hirudinei, Arthropoda, Insecta, Myiasis. Im wesentlichen bietet das Buch nur eine Zusammenstellung der klinischen Erscheinungen bei beobachteten Fällen unter Angaben der verschiedenen therapeutischen Maßnahmen. Als Quellensammlung in dieser Hinsicht erfüllt das Buch seinen Zweck. Einige Abschnitte sind gegenüber der vorhergehenden Auflage etwas umgestaltet und erweitert worden, so z. B. der Abschnitt über Amoebina, Haemosporidia, Zestoden, Nematoden und Insekten. In anderer Hinsicht befriedigt aber die Neuauflage nicht. Vor allen Dingen hätte eine bessere Gruppierung des Stoffes stattfinden müssen. Überholte Dinge hätte Verf. streichen und dafür das Ganze mit leitenden Gesichtspunkten durchziehen sollen. Es sind Dinge in gleichwertige Abschnitte verwiesen worden, die in Unterabschnitte gehören. Am schlimmsten ist es, daß Gebiete in Abschnitten behandelt werden, wo sie direkt falsch untergebracht sind. Z. B. ist es ganz unverständlich, warum in dem Abschnitt über *Zestoden* ein Teil der klinischen Erscheinungen nach *Nematoden*-Befall abgehandelt werden, denn die Nematoden, Ascaris und Oxyuris usw. können doch unmöglich unter den Zestoden besprochen werden. Ein besonderer Abschnitt über Nematoden ist ja von S. geschaffen worden. Ferner: wenn man einen Abschnitt „Arthropoda" macht, so muß man doch die Insekten mit darunter fassen, oder zum mindesten den ganzen Abschnitt anders beschriften. Dem Abschnitt „Insecta" wird des weiteren ein Abschnitt über „Myiasis" gegenüber gestellt. Die Myiasiserkrankungen werden doch von Insekten, d. h. von Fliegenlarven hervorgerufen. Vollkommen unzulässig ist es, dann in dem gleichen Abschnitt über Myiasis noch: Zecken, Käfer und Skorpione mit abzuhandeln. Wenig didaktisch ist es auch, wenn Verf. in dem Abschnitt über Insekten als Unterabschnitte z. B. aufstellt: Stomoxys, *Pappatazifieber*. Dem Abschnitt über Stomoxys hätte doch unbedingt ein Abschnitt Phlebotomus, und nicht *Pappatazifieber*, folgen müssen. Warum Verf. in dem Abschnitt Insecta auf Microtrombidium und Trombidium verweist, ist ebenso unverständlich wie der bereits gerügte Fehler, Ascaris- und Oxyuriserkrankungen bei den Zestoden zu behandeln. Wenn man schon die Gliederung des ganzen Buches dem zoologischen System anpaßt, so dürften derartige Grundfehler nicht unterlaufen. Der Unterabschnitt Cordylobia hätte folgerichtig auch bei Myiasis behandelt werden müssen. Auch die Behandlung der zoologischen Nomenklatur wird nicht viel Beifall finden. Derartige Flüchtigkeiten setzen das Buch leider herab.

Auch in der Wahl des Ausdruckes sind Fehler unterlaufen. In einem wissenschaftlichen Buch sollte man nicht mehr von Läusebissen und Simuliumbissen sprechen. Diese Insekten „beißen" nicht, sie „stechen". Auf S. 500 wird ferner Trombidium als „Buschmücke" bezeichnet, und gleichzeitig darauf sagt Verf., daß es eine „Milbenart" sei. Manche Abschnitte sind über Gebühr ausgedehnt im Verhältnis zum Ganzen, und andere wieder sind recht dürftig weggekommen. So z. B. der Abschnitt über Xenopsylla cheopis, dem gerade knapp eine halbe Seite gewidmet ist. Auf S. 476 wird die Blausäurebekämpfung der Bettwanzen in 8 Zeilen abgetan. Die sehr umfangreiche neuere Literatur hierüber hat Verf. anscheinend nicht zu Rate gezogen.

Die einzelnen Abschnitte sind überhaupt sehr ungleich durchgearbeitet, so z. B. werden die neueren Ergebnisse der englischen Arbeiten über Kala azar fast gar nicht berücksichtigt, und was über Tyroglyphus farinae auf S. 428 gesagt wird, ist weit überholt. Für eine Neuauflage war es dringend erforderlich, nicht einfach das Material zusammenzustellen. Längst überholte Dinge mußten herausgestrichen werden und eine kritische Sichtung hätte Platz greifen müssen. Das beste an dem Buch ist noch die umfangreiche Literaturangabe, die auch wesentlich wertvoller

wäre, wenn nicht nur Verfasser und Zeitschriften aufgeführt wären, sondern auch die Titel der betreffenden Arbeiten. Einige Abbildungen sind beigefügt. Die Abbildungen 5—12 hätte man aber wirklich durch neuere und bessere Bilder ersetzen müssen bei einer vermehrten Neuauflage.

ALBRECHT HASE, Berlin-Dahlem.

GRIMPE, G., und E. WAGLER, **Die Tierwelt der Nord- und Ostsee.** Lieferung IV. Teil VII. c_1: *Bryozoa* von E. MARCUS (100 S. 168 Fig.) Teil XII. c: Pisces, Allgemeiner Teil von H. M. KYLE und E. EHRENBAUM (104 S., 20 Fig., 1 Tafel.) Teil XII. g_1: Teleostei *Physoclisti* I—5. von G. DUNCKER u. ERNA W. MOHR. (44 S., 34 Fig.) Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1926. 15 × 22 cm. Preis RM 18.—.

Die Behandlung der vielgestaltigen, von der deutschen Zoologie von jeher etwas vernachlässigten Klasse der Bryozoen durch MARCUS ist in jeder Hinsicht als sehr gelungen zu bezeichnen. Anatomie, Embryologie, Physiologie, Oekologie und Chorologie sind alle gleich eingehend und ausgiebig berücksichtigt. Es ist erstaunlich, wie viel des Wissenswerten hier auf 100 Seiten zusammengetragen ist. Die Brauchbarkeit des Textes wird sehr erhöht durch die zahlreichen, zum großen Teil neuen Abbildungen, welche die komplizierten Strukturverhältnisse der Bryozoen in ausgezeichneter Weise erläutern. Sehr dankenswert sind auch die knappen, aber genauen Anweisungen über Technik der Untersuchung und Aquarienhaltung. Auf Theoretisches geht der Verf. im allgemeinen nicht ein, wo es aber doch geschieht, wie bei der Zurückweisung der aus den Tatsachen der Knospung und Regeneration von manchen Autoren gefolgerten Einwände gegen die Keimblätterlehre, da geschieht es mit Umsicht und Kritik, wie es bei einem Schüler von K. HEIDER ja auch nicht anders zu erwarten war. Die Bestimmungstabelle schließt sich eng an HINCKS bekannte Monographie der britischen Bryozoen an.

Auch gegen die Bearbeitung des allgemeinen Teiles der *Pisces* durch KYLE und EHRENBAUM läßt sich sachlich nichts wesentliches einwenden. Die Art der Darstellung aber entspricht wenig den Zwecken eines Werkes, das hauptsächlich der schnellen Information von Anfängern dienen will. Auf eine kurze, Form und Bau der Fische betreffende, Einleitung folgt eine Übersicht über das System, in welcher eine solche Menge anatomischer Kenntnisse vorausgesetzt werden, daß nur ein Leser, der schon recht bewandert in der Ichtyologie ist, sie mit Gewinn benützen kann. Und dabei beschränkt sich die unmittelbar darauf folgende Organbeschreibung grundsätzlich auf „diejenigen Teile eines Fisches, die den Organismus mehr als etwas Belebtes betreffen". Eine solche anatomisch-physiologische Behandlungsweise ist zwar modern, aber hier gewiß nicht zweckentsprechend. Sie führt z. B. dazu, daß, bis auf ein paar Bemerkungen über die Schwanzwirbelsäule, das Skelett überhaupt nicht erwähnt wird. Diesem Mangel wird auch durch die schöne Tafel mit Röntgenaufnahmen von 10 Fischtypen nicht abgeholfen. Ersparen können hätten sich die Verff. dagegen die häufigen Ausfälle gegen die Selektionstheorie, die zwar einer Tagesmode entgegenkommen, in ein Werk, wie das vorliegende, aber nicht hineingehören und nur verwirrend wirken können. Andrerseits überschätzen die Verff. die Tragweite der Mutationstheorie doch allzusehr, wenn sie z. B. meinen, die Asymmetrie des Schädels bei den Plattfischen sei „eine plötzliche Abänderung von normalen Verhältnissen". Eine sehr erwünschte Beigabe der Arbeit ist die Tabelle zur Bestimmung der Fischeier. Den Bestimmungsschlüssel für die Familien hat der bekannte Hamburger Ichtyologe G. DUNCKER beigesteuert. Den Schluß der Lieferung bildet der Anfang des Kapitels Teleostei. Und zwar bespricht DUNCKER die Syngnathiformes, und MOHR die Scombresociformes, Ammodythiformes, Plectognathi und Atheriniformes. In übereinstimmender Weise werden kurze Diagnosen und Bestimmungsschlüssel der Familien, Gattungen und Arten gegeben und ökologische Bemerkungen eingestreut, die den Wert der Arbeit sehr erhöhen. Bei den Arten werden auch die deutschen, holländischen, englischen, schwedischen, norwegischen, zum Teil auch die finnischen Vulgärnamen angeführt. J. GROSS, Neapel.

PFEIFFER, H., **Grundlinien zur Entwicklungsmechanik der Pflanzengewebe.** Abhandlungen zur theoretischen Biologie, herausgeg. von JULIUS SCHAXEL, H. 20. Berlin: Gebr. Borntraeger 1925. VI, 99 S. 16 × 25 cm. Preis RM 6.—.

Die von WILHELM ROUX zur Sonderwissenschaft erhobene Entwicklungsmechanik hat sich ein hohes Ziel gestellt: sie will die Gestaltungsvorgänge in den Lebewesen, deren Zweckmäßigkeit wir durch vergleichende Untersuchungen kennen, kausal erfassen. Ihre Methode ist das Experiment, die Untersuchung der Entwicklung unter verschiedenen Bedingungen. Die bei den entwicklungsmechanischen Untersuchungen auftauchenden schwierigen Probleme und mannigfachen Fehlerquellen fordern hier besonders scharfe Kritik der Methode und des Erfolges durch den Experimentierenden, präzise Erfassung aller Möglichkeiten. Auf botanischem Gebiet liegen zwar einige entwicklungsmechanisch verwertbare Erfahrungen vor, doch vorerst zerstreut und nicht unter einheitlichem Gesichtspunkt betrachtet. Verf. sucht nun hier eine Basis zu schaffen, ein logisches Gerüst aufzubauen, in das die bestehenden Erfahrungen eingeordnet werden können, das auch Ausblick auf neue Fragestellungen und Einblick in sonst unbeachtete Zusammenhänge gewährt. Ein solches Beginnen ist zweifellos verdienstlich. In dem Streben nach Klarheit ist für die Entwicklungsmechanik ein ganzes System von streng logisch definierten und verknüpften Begriffen geschaffen worden, die hier auf die Entwicklungsmechanik der Pflanzengewebe angewandt werden. Aus dem Inhalt können nur die Hauptpunkte angedeutet werden. Inhalt und Umfang der Entwicklungsmechanik, ihre erkenntnistheoretische Begründung und ihre Beziehungen zur physiologischen Anatomie werden im ersten Hauptteil der Arbeit auseinandergesetzt. Dann wird die experimentelle und gedankliche Methodik der entwicklungsmechanischen Pflanzenanatomie und schließlich die Analyse der beobachteten Erscheinungen — die Zurückführung auf die bedingenden Faktoren und die den Geweben innewohnenden Potenzen — aufgezeigt. Klarheit wird angestrebt, aber sie wird dem philosophisch nicht geschulten Leser nicht leicht gemacht, der sich zum Verständnis auch geläufiger Dinge ein Heer von lateinisch-griechischen Kunstausdrücken aneignen muß. Ich habe bestimmt den Eindruck, daß sich viele Zusammenhänge in einfacher deutscher Sprache mindestens ebenso klar, aber leichter verständlich darstellen ließen. So aber wird manchem Leser mehr das System als die Sache selber in den Vordergrund treten. Im einzelnen aber wird er eine Menge wertvoller Hinweise und Anregungen finden. P. METZNER, Berlin-Dahlem.

KOSTYTSCHEW, S., **Lehrbuch der Pflanzenphysiologie.** I. Band. Chemische Physiologie. Berlin: Julius Springer 1926. VII, 567 S. und 44 Abbild. 16×24 cm. Preis geh. RM 27.—, geb. RM 28.50.

Unter dem Einfluß einiger bedeutender Vertreter

der Botanik in Deutschland und ihrer Schüler, die heute die wichtigsten Lehrstühle unserer Hochschulen einnehmen, hat sich zwar im ganzen ein erfreulich hoher Stand unserer Wissenschaft in Deutschland, besonders der Physiologie, entwickelt. Auf der anderen Seite brachte es aber die überragende Stellung jener Männer mit sich, daß ihr weitaus umfangreichster und in mancher Beziehung wichtigster Zweig, die Stoffwechselphysiologie, in der sie selbst sich nicht oder doch in ihren reiferen Jahren nicht mehr betätigt hatten, in Deutschland kaum noch Vertreter fand und fast ganz in den Hintergrund gedrängt wurde. So ergab sich ein Zustand, der nicht nur vom wissenschaftlichen Standpunkt aus beklagenswert genannt werden muß, sondern auch aus praktischen Gründen, weil unsere wissenschaftliche Landwirtschaft der für sie wichtigsten botanischen Anregungen beraubt wurde und auch für die angewandte Botanik z. T. die Gefahr nahe rückte, in unfruchtbarem Strohdrusch zu verkümmern.

Hier hat nun der bekannte russische Akademiker die deutsche botanische Literatur um ein prächtiges Werk bereichert, für das wir in Deutschland ihm besonders dankbar sein müssen. Die Anlage des Buches ist durchaus originell. Das zeigt ein Vergleich mit den Darstellungen in unseren Lehrbüchern oder etwa mit der eingehenden Bearbeitung von Benecke in der mit Jost verfaßten „Pflanzenphysiologie". Diese schließen sich in der Stoffgruppierung und -auswahl im allgemeinen an Pfeffers berühmtes Werk an, das, wie der Verf. betont, einer vergangenen Epoche angehört, welche — notgedrungen — ihre Kräfte an (oft nebensächlichen) Beeinflussungen des Stoffwechsels von außen her erschöpft hatte, so daß die Darstellung dieser sekundären Bedingtheit gegen diejenige des noch ganz unvollkommen bekannten primären Geschehens in der Pflanze breit in den Vordergrund trat, ja sie zum Teil ganz überwucherte.

Der Verf. verzichtet auf dieses Sekundäre in weitestem Maße und stellt das chemische Geschehen in der Pflanze ganz in den Mittelpunkt seiner Darstellung. Es ist somit keine Stoffwechselphysiologie im üblichen Sinne geworden. Aber obwohl dieses Chemische, Stoffe und Reaktionen, den Kern des Buches bildet, so ist daraus wiederum auch keine Biochemie geworden, sondern das physiologische Moment bleibt in Stoffgruppierung, Auffassung und als Lehrziel immer dominierend, wobei wir selbstverständlich von den physiologisch noch fast ganz unbekannten Stoffgruppen (Kap. VII) absehen müssen. Der Titel „Chemische Physiologie" erscheint somit berechtigt und glücklich gewählt. Er entspricht dem Inhalt auch insofern, als die physikalischen Vorgänge, wie Stoffaufnahme und -wanderung, welche in der uns seit Pfeffer geläufigen Stoffgliederung zwar viele wichtige Beziehungen zwanglos hervortreten zu lassen gestatten, die Darstellung des chemischen Geschehens aber auch immer wieder zu unterbrechen zwingt, ganz weggelassen und einer besonderen „physikalischen Physiologie" vorbehalten werden. Ob der Verf. damit nicht nur von seinem besonderen Standpunkt Recht hat — darüber kann kaum ein Zweifel sein — sondern auch vom allgemein-didaktischen, wird sich erst beurteilen lassen, wenn der 2. Band des Werkes vorliegt.

Der Inhalt des 1. Bandes gliedert sich in folgender Weise: Das I. Kapitel, den besonderen Charakter des Buches sehr glücklich betonend, bringt „die Grundlagen der chemischen Physiologie". Hier werden die Grenzflächenerscheinungen, die Kolloidlehre, die physiologische Bedeutung der molekularen Asymmetrie, der Reaktionsgeschwindigkeit, Katalyse, Enzyme und der H-Ionenkonzentration knapp und klar besprochen. Kap. II behandelt die Photosynthese, das III. die Chemosynthese und Assimilation des molekularen N. Es folgen das IV. Kap. über die Ernährung mit fertigen org. Verbindungen und das V. über diejenige mit Aschenstoffen. Im VI. werden die Kohlenhydrate und Eiweißkörper, sowie deren Verwandlungen und im VII. als „sekundäre" Pflanzenstoffe die Fette, Lecithine und Phosphatide, org. Carbonsäuren, Terpene, Harze usw. besprochen. Ein VIII., der Atmung und Gärung gewidmetes Kapitel macht den Schluß.

Wie schon gesagt, ist das Denken des Verf. überall physiologisch gerichtet, wofür auch die Einzelheiten (z. B. Auffassung der sog. Symbiose, der Hefegärung) Belege bieten. Die Darstellung verrät überall die Bemeisterung des gewaltigen Stoffes und die autoptische Vertrautheit mit den Einzelheiten. Lücken unseres Wissens werden scharf herausgestellt und wichtige Punkte angedeutet, wo neue Untersuchungen einzusetzen haben. Den Problemen gegenüber nimmt der Verf. entschiedene Stellung, statt sich auf jenes einerseits-andererseits zu beschränken, das schon manches gute Lehrbuch um seine beste Wirkung gebracht hat. Das Werk wird sicher überaus anregend wirken, wozu die knappen, überall verstreuten methodischen Hinweise nur beitragen können. Diese könnten in einer späteren Auflage vielleicht noch vermehrt werden (z. B. Hüblsche Lichtfilter, Chinhydronelektrode, Mikroanalyse usw.). Den Bemerkungen S. 464 über das Barcroftmanometer kann übrigens Ref. nicht beistimmen.

In manchen Fragen, auch der Stoff- und Literaturauswahl, die Ref. fast durchweg billigt, kann man natürlich verschiedener Meinung sein, und nichts wäre müßiger, als dem Verf. hier einzelne Fortlassungen anzurechnen. Der besondere Charakter des Buches verlangt natürlich einen entsprechenden Maßstab der Beurteilung. Sehr zu begrüßen ist die eingehende Berücksichtigung der in Deutschland vielfach unbekannt gebliebenen russischen Literatur; dafür hat Ref. einiges Wenige, z. B. Erwähnung der schönen Arbeiten K. Noacks (Photosynthese und Fluorescenz, S. 131, Anthocyane S. 312), vermißt. In manchen Einzelfragen (J, Cl, S. 276 f, Glykogen, S. 303, Pentosen, S. 305, Succulentenstoffwechsel!), wäre noch einiges physiologisch nicht Unerhebliche nachzutragen. Dort wären wohl auch einzelne Abbildungen (z. B. auf S. 194 und 249) durch geeignetere zu ersetzen. Auch die Legenden zu einzelnen Tabellen (z. B. S. 210) blieben noch etwas zu vervollständigen. Vielleicht möchte auch scheinen, daß in der Einteilung des Verf. der N-Stoffwechsel etwas zersplittert herauskommt, wobei aber zuzugestehen ist, daß wieder andere Zusammenhänge, auf die es dem Verf. ankam, nicht hervorgetreten wären, wenn dafür ein einheitliches Kapitel vorgesehen worden wäre. Das Kapitel VIII (Atmung und Gärung) wird nach den allerneuesten Forschungen um so leichter umzugestalten sein, als dessen vorliegende Darstellung schon zeigt, auf wie richtiger Bahn der Verf. sich hier und bei seinen glänzenden einschlägigen Arbeiten bewegt hat.

Möge das ausgezeichnete und auch vortrefflich ausgestattete Buch den Leserkreis finden, den wir ihm nicht nur bei Botanikern, sondern auch bei Chemikern und chemisch vorgebildeten Tierphysiologen wünschen müssen. Den letzteren kann es um so mehr empfohlen werden, als Kenntnisse aus der Morphologie und Anatomie nur in sehr bescheidenem Maße vorausgesetzt werden. Denn der Verf. glaubte, mit Recht, auf eine Besprechung der physiologischen Bedeutung der Zell-

und Gewebestrukturen verzichten zu müssen, und nur dann ein zusammenhängendes Bild des biochemischen Geschehens entwerfen zu können, wenn er die gesamte Pflanze als einheitliches Reaktionsmedium behandelte.

W. Ruhland, Leipzig.

CHOLODNY, N., **Die Eisenbakterien.** Beiträge zu einer Monographie. Jena: G. Fischer 1926. VI, 162 S., 20 Abb. im Text und 4 Tafeln. 17 × 25 cm. Preis RM 12.—.

Der Verf. dieser Monographie hat sich schon dadurch einen Namen gemacht, daß er die Morphologie der Eisenbakterien auf eine ganz neue Grundlage gestellt hat. Die Bearbeitung, die er uns jetzt bringt, faßt alles was über diese wichtigen und interessanten Lebewesen bekannt ist, in kritischer Weise zusammen und wirkt dadurch überaus klärend. Dagegen ist man etwas enttäuscht, in physiologischer Hinsicht zwar eine vortreffliche Übersicht, aber nichts eigentlich Neues zu finden. Immerhin darf man hoffen, daß die Aufzeigung der großen Lücken dazu anregen wird sie auszufüllen. Seit der ersten Monographie über dieses Gebiet, die von Molisch herrührt, sind nun schon 15 Jahre verflossen; kein Wunder, daß da manches jetzt anders aussieht. Nimmt man hinzu, daß auch die praktische Bedeutung dieser Organismen immer besser erkannt wird, so muß man die Bearbeitung des Verf. als sehr verdienstlich bezeichnen.

Es werden in den einzelnen Kapiteln geschildert: Die Morphologie der Eisenbakterien, Physiologie und Ökologie, und die Rolle der Eisenbakterien in der Natur und im Haushalt des Menschen. Ausführliche Register und besonders schöne Abbildungen erhöhen den Wert des Büchleins.

Das Charakteristische für die Eisenorganismen ist der Umstand, daß sie Eisenoxydhydrat ablagern, und zwar an bestimmten Stellen ihrer Oberfläche und in morphologisch bezeichnender Weise. Winogradsky hat 1888 für die zu den Bakterien gerechneten Eisenorganismen die Theorie aufgestellt, daß die aus der Oxydation von Ferro- zu Ferriverbindungen stammende Energie ihnen die Atmung ersetzt. Die Einwände hiergegen, die Molisch erhoben hat, weil es ihm gelungen war ein Eisenbakterium mit organischen Substanzen zu ernähren, können jetzt nicht mehr als stichhaltig betrachtet werden, weil wir inzwischen andere Bakterien kennen, die sowohl chemo-autotroph wie heterotroph gedeihen können. Lieske hat dann auch bewiesen, daß es wirklich streng autotrophe Eisenbakterien gibt, die unter Ausschluß organischer Substanzen leben und ihre Leibessubstanz aus organischen Substanzen aufbauen, die durch Verarbeitung von Kohlensäure entstehen. Im einzelnen ist aber auf diesem Gebiete noch viel zu klären, wozu die vorliegende Monographie eine vorzügliche Grundlage abgeben wird.

E. G. Pringsheim, Prag.

Protoplasma, Internationale Zeitschrift für physikalische Chemie des Protoplasten. Bd. 1, Heft 1. Leipzig: Gebr. Borntraeger 1926.

Wenn bei dem scharfen Wettbewerb, der auf dem deutschen Zeitschriftenmarkt herrscht, eine Neugründung ihren Weg machen will, so muß sie sich durch starke Eigenart, ein zugkräftiges Programm und ein scharf umrissenes Arbeitsgebiet auszeichnen. Alle drei Eigenschaften besitzt in hohem Maße die von J. Spek (Heidelberg) und F. Weber (Graz) begründete Zeitschrift „Protoplasma". An Organen der Zellforschung ist zwar kein Mangel. Wir besitzen bereits die „Zeitschrift für Zellen- und Gewebelehre" und das „Archiv für experimentelle Zellforschung", und auch die „Zeitschrift für mikroskopisch-anatomische Forschung" enthält manche cytologische Arbeit. Trotzdem bildet eine speziell der physikalisch-chemischen Erforschung des Protoplasmas gewidmete Zeitschrift eine täglich notwendiger werdende Ergänzung der bisher hauptsächlich morphologisch, physiologisch und biochemisch gerichteten cytologischen Literatur.

Ohne ihren älteren Schwestern die Kreise zu stören, will die neue Zeitschrift einen internationalen Sammelplatz für die physikalisch-chemische Cytologie der Pflanzen und Tiere darbieten. Daher die Aufnahme von Arbeiten in allen vier auf den großen internationalen Kongressen zugelassenen Sprachen, daher der ebenfalls viersprachige Titel der Zeitschrift und der große ganz internationale Stab von Mitarbeitern, den viele bedeutende Namen zieren.

Gleich das vorliegende 1. Heft des 1. Bandes zeugt sowohl von der Internationalität der Mitarbeiter (zwei Spezialarbeiten in englischer, eine in deutscher und eine in französischer Sprache), als auch von der Vielseitigkeit und zugleich von dem mit möglichster Schärfe abgegrenzten Arbeitsgebiet der Zeitschrift.

W. Seifriz untersucht die merkwürdigen, an unreifen Seeigeleiern sich bildenden Protoplasmapapillen und äußert sich über ihre Entstehung und kolloidale Natur. W. Beck behandelt die plasmolytische Wirkung von Rohrzucker- und Salperetlösungen. Auch E. Küster bringt Beiträge zur Kenntnis der Plasmolyse, und zwar namentlich ihres Verhältnisses zur „Vakuolenzerklüftung" und der Plasmochise. B. Ephrussi endlich studiert die Temperaturkoeffizienten der verschiedenen Phasen der Mitose bei Seeigeleiern und vergleicht sie mit den entsprechenden Verhältnissen bei den Eiern von *Ascaris*.

In einem instruktiven Sammelreferat weist J. Gicklhorn auf die große Bedeutung der Dielektrizitätskonstante für die Physiologie des Protoplasmas hin. Die Besprechungen einzelner Arbeiten sind eingehend und kritisch, wie es sich für jede eine ganz bestimmte Richtung vertretende Zeitschrift von selbst versteht. Eine Neuerung, die sich wohl bewähren wird, sind die Bibliographien bestimmter Kapitel der Protoplasmaforschung, von denen dem vorliegenden Heft eine über die „Strahlenwirkung auf Protoplasma und Biokolloide" und eine über „Viscosität und Elastizität des Protoplasmas" beigegeben sind.

Über die illustrative Ausstattung der Zeitschrift läßt sich aus dem 1. Heft kein Urteil gewinnen, da sie außer einer Anzahl ganz einfacher Textfiguren nur drei mikrophotographische Tafeln enthält, die für solche Darstellung nicht gerade günstige Objekte betreffen. Doch bürgt der Name des Verlages dafür, daß die Zeitschrift auch in dieser Hinsicht sich auf beträchtlicher Höhe halten wird.

Alles in allem dedeutet „Protoplasma" eine wesentliche Bereicherung des biologischen Zeitschriftenwesens, deren weitere Entwicklung die Biologen aller Kulturländer mit Spannung verfolgen werden.

J. Gross, Neapel.

PAULI, W., **Eiweißkörper und Kolloide.** Zwei Vorträge für Biologen und Chemiker. Wien: Julius Springer 1926. 32 S. und 20 Abbild. 16 × 24 cm. Preis RM 2.40.

Das eben erschienene Heft ist als erstes einer Reihe gedacht, in der Prof. Dr. W. Pauli, der Vorstand des Instituts für Medizinische Kolloidchemie an der Universität Wien, die allgemeinen Forschungsergebnisse seines Institutes weiteren Kreisen zugänglich zu machen gedenkt.

„Die Eiweißkörper als Kolloide", Festvortrag gehalten in der Jahressitzung der Gesellschaft der Ärzte in

Wien am 19. März 1926 und ein an Chemiker gerichteter Vortrag „Der Aufbau anorganischer Kolloide" liegen vor. Zwei Prinzipien sind es, die hier zu einem tragfähigen Unterbau verschmolzen und in den weitverzweigten Gebieten, durch die uns der Vortragende führt, mit überzeugender Klarheit durchgeführt werden: Die Rolle der chemischen Konstitution und die Bedeutung elektrostatischer Wechselwirkungen für den Aufbau und für die Reaktionen der Kolloide. In der Einfachheit der Grundannahmen, die vielfach in unmittelbarer Anlehnung an die neuesten Fortschritte der Physik und physikalischen Chemie stehen, und in der durch viele Abbildungen vorzüglich unterstützten Anschaulichkeit liegt der Reiz dieser Schrift, die sich über den Kreis von Chemikern und Medizinern hinaus an alle biologisch interessierten Leser wendet und in dem, die anorganischen Kolloide betreffenden Teil auch dem Physiker wertvolle Anregung bringen wird.

Wenn es gestattet, ist an dieser Stelle einen Vorschlag zu unterbreiten, der bei Drucklegung künftiger Vorträge berücksichtigt werden könnte, so bezieht sich dieser auf Angaben der Literatur, die es gerade demjenigen, der die Originalarbeiten noch nicht kennt, erleichtern würden, den Fragen und Problemen, die sich bei der Lektüre in so reichem Maße ergeben, nachzugehen.

W. Pauli beginnt mit der Einwirkung von Radiumstrahlen auf anorganische Kolloide und führt uns dann ein schon weitgehend geschlossenes Bild vom allgemeinen Bauplan der Kolloide vor. Wir hören, wieso es nicht möglich ist, in reinstem Wasser reinstes Silber durch elektrische Zerstäubung kolloidal zu verteilen, wir erfahren an Hand vieler Beispiele, welcher Art die aufladenden Ionen bei bestimmten Kolloiden sind, wieviele Elementarladungen 1 Teilchen in Lösung halten, welcher Art die diffusiblen, austauschbaren „Gegenionen" sind usw. Wir lernen vor allem die Methoden kennen, denen ein Einblick in all diese Verhältnisse zu verdanken ist: die von W. Pauli für diese Zwecke gestalteten Methoden der Elektrodialyse, der Mikroleitfähigkeitstitration und andere ziehen an uns vorüber.

Bei den Eiweißkörpern wird der Mechanismus der Kolloidfällung und anderer Vorgänge auf Grund der N. Bjerrumschen Theorie der interionischen Kräfte in Elektrolytlösungen erläutert. Die Ansichten J. Loebs, der das gesamte kolloidale Verhalten der Proteine als sekundäres Ergebnis Donnanscher Ionenverteilung zu erklären versucht hat, erfahren scharfe Kritik. In Anklang an die Untersuchungen von J. Langmuir und von W. D. Harkins über molekulare Ausrichtung in Oberflächenschichten wird von W. Pauli die Bedeutung der „Elektroversion" von Ionen an den Kolloidteilchen erkannt, und von hier aus weitet sich der Blick in ein Zukunftsland der Biochemie.

Richard Kuhn, München.

Zuschriften.

Der Herausgeber hält sich für die Zuschriften nicht für verantwortlich.

Die Krisis in der Mathematik und ihre philosophische Bedeutung.

In den Naturwissenschaften Nr. 30, S. 706, hat Herr Löwy einige Notizen über den derzeitigen Stand unserer Erkenntnis des aktuell *Unendlichen* vorgetragen.

Ich möchte mir erlauben, hierzu folgendes zu bemerken:

Der Kern der Diskussion des Mengentheoretiker dreht sich darum, ob es eine Reihe streng *größengeordneter* Unendlichkeiten gibt, als da sind: 1. das *abzählbare* Transfinite < 2. das *nichtabzählbare* Tr. $<$ usw.; oder ob es im Unendlichen infolge Versagens unserer logischen Grundprinzipien überhaupt keine weitere sichere Erkenntnis gebe.

Ich glaube, daß diese divergenten Meinungen folgendermaßen zu vereinigen sind:

Der *Übergang* von den endlichen (Zahlen) zum Unendlichen ist ein solcher vom Logischen zum *Alogischen, Irrationalen*. Das Transfinite ist einfach *das mit sich selbst nicht mehr vollständig identische* (es gilt ja $\infty + n = \infty$ oder $\infty/2 = \infty$). Dieser Übergang von strenger Geltung des Identitätsprinzips — dem Logizismus — bis zum absolut Irrationalen ist nur stufenweise, in *Quantensprüngen*, möglich.

Wir können nicht stetig unsere Denkprozesse, unsere Begriffe entrationalisieren, sondern nur sprungweise — endliche Zahlen — ab zählbar. Tr. oder Aleph 1 — nichtabz. Tr. (das Kontinuum?) usw. Ein solches Axiom könnte man eventuell als Zeichen einer Fassungskraft des Irrationalen plausibel machen.

Aleph 1 faßt, ohne als Zahlgröße sich zu ändern, alle Zahlen bis zu den transzendenten.

Von diesen Zahlen ab ist eine neue *Abschwächung* des Identitätsprinzips nötig, um das *stetige* Unendliche (aller reellen Zahlen) zu umfassen. Und so fort bis zum absolut Alogischen. (Das Reich der unendlichen Kardinalzahlen wäre aber damit — entgegen Cantor — endlich.)

Auch im Realen ist vielleicht ein solches Verhältnis von Identität und Alogizität von Wichtigkeit (Quantentheorie?).

Eine diesbezügliche Arbeit wird demnächst erscheinen.

Atzgersdorf/Wien, den 31. Juli 1926. H. Latzin.

Absorption von Glimmer im ultravioletten Licht.

Die Absorption einiger Glimmersorten im ultravioletten Licht wurde von mir im Physikalischen Institut der Universität Bonn mit einem Quarzspektrographen untersucht. Dabei ergab sich, daß die Glimmersorten durchweg schon in mittleren Schichtdicken ziemlich stark absorbierten. Die geringste Absorption zeigten die untersuchten Ruby-Arten; bei den dünnsten Schichtdicken (0,03 mm) lag die Durchlässigkeitsgrenze bei etwa 2900 A.E., bei $^3/_4$ mm Dicke lag sie bei 3500. Stärker absorbierten die grünen Sorten, die bei $^1/_2$ mm Dicke nur noch Spuren ultravioletten Lichtes durchließen. Die stärkste Absorption zeigte der in der Durchsicht tiefbraune Madagaskar Amber, der schon in 0,1 mm Schichtdicke totale ultraviolette Absorption zeigt.

Die Arbeit, die auf Veranlassung von Herrn Prof. Dr. Konen gemacht wurde, wird im „Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie" erscheinen.

Bonn, den 31. Juli 1926.

Wolfgang Finkelnburg.

Quantentheorie der Dipolorientierung im äußeren Feld und Erfahrungstatsachen.

Bisher bestand keine Klarheit über die Frage, wie bei Dipolgasen die (experimentell aus der Dielektrizi-

tätskonstante zugängliche) Orientierungspolarisation P_O quantitativ verknüpft ist mit dem Wert μ des Dipolmomentes. Die klassische Statistik lieferte nach DEBYE eine bestimmte Funktion $(P_O)_{kl.}$, während quantentheoretische Ansätze — W. PAULI jr.[1]), L. PAULING[2]) — zu hiervon verschiedenen Ausdrücken führten. Diese Funktionen $(P_O)_{qu.}$ gingen aber bemerkenswerterweise für große T *nicht* asymptomatisch in die klassische Funktion über. Daher war die Wahl zwischen verschiedenen Zahlenwerten für μ noch offen. In zwei kürzlich, fast gleichzeitig, erschienenen Arbeiten wenden nun einerseits L. MENSING und W. PAULI jr.[3]), andererseits J. H. VAN VLECK[4]) die neue Quantenmechanik auf die Dipolbewegung an und können hierdurch die Schwierigkeit beseitigen: diese Formel geht für genügend hohen Wert des Produktes: Trägheitsmoment × abs. Temperatur, in die klassische Funktion über. Bei den im allgemeinen zugänglichen Werten des erwähnten Produktes werden die Differenzen nur in Ausnahmefällen merklich sein. Die Rechnungen der genannten Autoren beziehen sich nur auf ein bestimmtes, sehr einfaches Molekülmodell; man wird aber kaum zweifeln, daß die Tatsache der praktischen Koinzidenz beider Rechnungsarten eine ziemlich allgemeine, von der speziellen Molekülstruktur nicht sehr stark abhängige sein wird. Hierfür spricht auch einiges unabhängiges Tatsachenmaterial, das Verf. schon seit längerer Zeit zu der Vermutung geführt hatte, die Diskrepanzen seien in einem Mangel der früher benützten quantentheoretischen Grundlagen begründet.

Zunächst sei ein von PAULING als Stütze seiner Formel angeführter Punkt besprochen. Es handelt sich um den Vergleich der gemessenen Refraktion von HCl-Gas mit dem Wert, der aus Messungen der D.K. erhalten wird. Die Messungen von ZAHN[5]) liefern in PAULINGS Berechnung $n^2 - 1 = 7{,}7 \cdot 10^{-3}$, in der klassischen Berechnung $10{,}4 \cdot 10^{-3}$. Für die D-Linie wurde gemessen $n^2 - 1 = 8{,}88 \cdot 10^{-3}$ und aus der bekannten Dispersion[6]) extrapoliert man für unendlich große Wellenlänge den um nur 2% kleineren Wert $8{,}70 \cdot 10m^{-3}$. Dessen Unsicherheit reicht aber in keinem Falle hin, um in ihm eine Stütze des PAULINGschen, um 11,5% kleineren Wertes sehen zu dürfen. Im Gegenteil ist nur das Verhältnis der klassisch berechneten Refraktion zum optischen Wert ein vernünftiges. Bei der Abtrennung der Orientierungspolarisation aus der gesamten Molekularpolarisation[7]) $P = P_E + P_A + P_O$ bleibt ja nicht P_E allein übrig, sondern die Summe $P_E + P_A$. Man muß also *erwarten*, daß die Analyse der D.K.-Messungen einen Rest liefert, der *größer* ist als P_E, da man im allgemeinen — besonders bei Dipolmolekülen — mit Polarisationsbeiträgen P_A rechnen muß, die im Ultraroten liegen. Die Größe von P_A ist in diesem Fall außerdem von plausibler Größe und man kann somit sagen, daß nur eine der klassischen Rechnung zahlenmäßig äquivalente mit dem gemessenen Wert der optischen Refraktion in Einklang gebracht werden kann.

Allgemeinerer Natur sind die Überlegungen, welche sich auf den Übergang eines Dipolstoffes vom verdünnten gasförmigen zum kondensierten flüssigen Zustand beziehen. Während man nämlich bei genügender Verdünnung des Dipolgases eine (aus der Beobachtung der entsprechenden Absorptionsspektren oft wahrscheinliche) scharfe Quantelung der Bewegungsvorgänge annehmen darf, wäre dies — jedenfalls was die Richtungsquantelung betrifft — in den flüssigen Systemen kaum mehr zulässig.

Bringt man z. B. ein Dipolgas wie HCl in indifferente Lösung (Benzol), so ist eine große Änderung von μ nicht wahrscheinlich. Nach den früheren Rechnungen, z. B. der PAULINGschen, sind aber bei gleichem μ die Werte von P_O wesentlich verschieden, bei hoher Temperatur ist PAULINGS Wert 14mal so groß als der klassisch berechnete. Es müßte also derselbe Stoff in Lösung eine sprunghaft kleinere Mol. Pol. zeigen als im Gaszustand. Die Erfahrung über solche Verhältnisse sind zwar noch nicht sehr ausgebreitet, doch spricht bis jetzt *nichts für* diese Forderung. Die Messungen an C_2H_5OH (berechnet von DEBYE) und an HCl[8]) zeigen sogar eine sehr weitgehende Annäherung der experimentell gefundenen Werte für beide Zustände. Daher wird auch hier wahrscheinlich gemacht, daß für beide Zustände zahlenmäßig äquivalente Funktionen P_O anzuwenden sind.

Dasselbe gilt für den Übergang der Gase in den reinen flüssigen Zustand. Hier sollte schon in den Fällen, wo eine sehr geringe gegenseitige Einwirkung der Dipole (wegen sonst normalen Verhaltens des Stoffes) vorauszusehen ist $(P_O)_{fl}$ wesentlich kleiner sein als $(P_O)_{Gas}$. Dies ist jedoch nicht der Fall. Im Gegenteil fällt — wie bereits früher gezeigt — eine sehr klar ausgeprägte Parallelität auf: auch sonst sich normal verhaltende Stoffe zeigen eine geringe Differenz $(P_O)_{fl} - (P_O)_{Gas}$, dagegen ist sie merklich bei Stoffen, die man als assoziiert bezeichnet[9]).

Soweit abzusehen, liefert also die Erfahrung nur Gesichtspunkte, die *für* das Ergebnis von MENSING-PAULI bzw. VAN VLECK sprechen, und zwar auch bei komplizierteren Molekülen. Damit dürfte aus den Grundlagen zur genaueren Bestimmung von μ die ernsteste der früher gesprochenen Schwierigkeiten[9]) verschwunden sein, was wegen der vielfachen Wichtigkeit dieser Konstanten eine sehr erwünschte Klärung bedeutet.

Oegstgeest bei Leiden, den 27. August 1926.

L. EBERT.

[1]) W. PAULI jr., Zeitschr. f. Phys. **6**, 319. 1921.

[2]) L. PAULING, Proc. of the nat. acad. of sciences (U. S. A.) **12**, 32. 1926; Phys. Rev. **27**, 568. 1926.

[3]) L. MENSING und W PAULI jr., Phys. Zeitschr. **27**, 509. 1926.

[4]) Y. H. VAN VLECK, Nature **118**, 226. 1926.

[5]) CH. TH. ZAHN, Phys. Rev. **24**, 400. 1924.

[6]) C. und M. CUTHBERTSON, Phil. transact. roy. soc. (A) **213**, 1. 1913.

[7]) L. EBERT, Zeitschr. f. physikal. Chem. **113**, 1. 1924.

[8]) L. EBERT, Naturwissenschaften **13**, 681. 1925.

[9]) L. EBERT, Zeitschr. f. physikal. Chem. **114**, 430. 1925.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.